

Diseño de un *software* educativo para el análisis de sistemas hidráulicos a presión en ingeniería civil

Designing educational software for analysing pressurised hydraulic systems in civil engineering

Myriam Rocío Pallares Muñoz¹ y Wilson Rodríguez Calderón²

RESUMEN

Las nuevas tecnologías informáticas abren un mundo inagotable de posibilidades en el ámbito de la docencia. En el caso particular de las enseñanzas técnicas, el uso de estas tecnologías se convierte en indispensable por la propia naturaleza de los recursos actuales de diseño y producción industrial. El trabajo que se presenta a continuación consiste en la elaboración de un material didáctico (*software* educativo) destinado a la enseñanza de la mecánica de los fluidos, particularmente al análisis de sistemas de tuberías, tanques y bombas,³ dirigido en principio a los estudiantes de ingeniería civil de la Universidad Santo Tomás de Bogotá. Este tipo de materiales, han sido desarrollados y utilizados con éxito por varias universidades a nivel mundial,⁴ a lo largo de los últimos años, dentro de los nuevos planes de estudio. El *software* didáctico objeto de este trabajo se ha construido utilizando el lenguaje de programación Visual Basic.⁵ El resultado es una herramienta educativa muy útil que permite una efectiva comunicación profesor-alumno, adecuada tanto para las clases presenciales en el aula de clase como para el trabajo personal del estudiante (Ángel y Bautista, 2001; Aguilar, 2002).

Palabras clave: desarrollo de *software*, *software* educativo, Método de Cross

ABSTRACT

New information technologies have opened up a world of inexhaustible possibilities in teaching. Using such technologies in technical teaching has become indispensable due to the nature of current resources in industrial design and production. This work consists of preparing didactic material (educational software) aimed at teaching fluid mechanics, particularly analysing tube, tank and pumping systems, initially aimed at civil engineering students from the Universidad Santo Tomás in Bogotá. Such materials have been successfully developed and used in their formal programmes by several universities around the world during the last few years. The didactic software mentioned in this work was constructed using Visual Basic programming language. This has resulted in a very useful educational tool, leading to effective teacher–student communication which is suitable for both the classroom and students' personal work (Ángel y Bautista, 2001; Aguiar, 2002).

Key words: software development, educational software, Cross's method.

Recibido: marzo 30 de 2006

Aceptado: agosto 10 de 2006

Introducción

Cuando se intenta resolver un problema de redes de tubería no es conveniente utilizar la vía analítica, dado que el sistema resultante es de carácter no lineal debido a la naturaleza potencial de las ecuaciones de pérdida en tuberías, bien sea a través de la fórmula de Hazen-Williams para flujo en tuberías comerciales, o de la ecuación de Darcy-Weisbach utilizada en aplicaciones particulares, donde es posible calcular el factor f por medio de la formulación de Coolebrook u

otra empírica dependiendo del régimen al que se encuentre sometido el flujo (laminar o turbulento) (Aho y Hopcroft, 1974; Franzini y Finnemore, 1999; Burden y Faires, 1998; Zienkiewicz y Taylor, 1994).

En problemas reales de flujo es necesario emplear métodos de aproximaciones sucesivas comúnmente llamados iterativos. Quizá el más conocido sea el de Hardy-Cross, el

¹ Ingeniera civil, especialista, UIS, Bucaramanga. M.Sc. en Métodos Numéricos para Ingeniería, Universidad Politécnica de Cataluña. mroci03@hotmail.com

² Ingeniero civil. Especialista, UIS, Bucaramanga. M.Sc. en Métodos Numéricos para Ingeniería, Universidad Politécnica de Cataluña. Profesor Investigador, Departamento de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Javeriana. wilroca@javeriana.edu.co

³ El análisis de estos sistemas representa uno de los problemas más complejos de solucionar en la mecánica de los fluidos.

⁴ Las universidades españolas se constituyen en líderes a nivel mundial en estos avances pedagógicos.

⁵ Visual Basic, es un lenguaje de programación orientado a objetos comercial. La licencia empleada en este trabajo, es propiedad de la Universidad Santo Tomás de Bogotá.

cual utiliza la ecuación de continuidad para determinar los flujos de partida y calcula una corrección en cada circuito (se usa para mejorar el balance en ellos). Este procedimiento se realiza de manera repetitiva hasta que la corrección calculada alcanza valores muy pequeños que no modifican la solución. Tal situación conlleva al cálculo definitivo del flujo en cada uno de los elementos componentes del sistema (Gear, 1971; Mathews, 2000).

En redes pequeñas es posible resolver el problema implementando el método de Hardy-Cross en calculadoras programables; sin embargo, en redes mayores o que contienen varios depósitos de suministro (tanques), bombas y una buena cantidad de elementos, es conveniente contar con un programa de computador que pueda solucionar el problema utilizando el mismo método de Hardy-Cross o cualquier otro numérico iterativo disponible (Giles *et al.*, 1994; Mott, 1996).

El software educativo Poseidón 1.0 es un modelador computacional de sistemas hidráulicos de n tuberías, n tanques y n bombas que tiene implementada la clásica ecuación de pérdidas de Darcy-Weisbach y el método de balance de Cross para la solución numérica de los circuitos hidráulicos. Sus características de manejo sencillo hacen de él una herramienta eficiente para la docencia en temas de análisis y diseño de sistemas hidráulicos o redes a presión.

El programa fue desarrollado dentro de un proyecto de investigación adelantado en el año 2005 como parte de la producción investigativa del grupo en simulación y control numérico SICON.⁶ La herramienta es un producto de la línea de investigación en modelación numérica que contempla el desarrollo de *software* pedagógico como un área estratégica de la investigación del grupo en la actualidad. Se espera que la comunidad académica y estudiantil pueda aprovechar y emplear este *software* en las actividades de docencia e investigación.

Motivación y objetivos

Con la introducción de los nuevos planes de estudio en la titulación de las ingenierías y, en general, de la gran mayoría de las carreras en Colombia, las asignaturas técnicas de ingeniería sufren una importante reestructuración. La apuesta por el sistema de créditos conlleva una reubicación de los contenidos en el currículo y una disminución en el número de horas lectivas globales. Además, se hace necesario introducir un carácter experimental en algunas de ellas con la asignación de prácticas en un laboratorio de informática (La enseñanza superior en el siglo XXI: Estrategias de futuro, 1998).

El diseño de estas herramientas educativas se constituye en un reto para cambiar el modo de enseñar, de manera que

vaya más acorde con los instrumentos que las nuevas tecnologías ponen a nuestra disposición y, sobre todo, que permita realizar una educación ingenieril para la vida profesional, facilitando al alumno adaptarse a los distintos cambios que, sin duda, tendrá que acometer a lo largo de su carrera.

Por otro lado, los objetivos pedagógicos que se pretenden lograr son muy amplios, y entre ellos se pueden destacar:

Objetivos generales

- Familiarizar al alumno con las nuevas tecnologías informáticas en el campo de la ingeniería, intentando mostrar su utilidad tanto en la formación como en el posterior desarrollo profesional.
- Poner en práctica los conocimientos adquiridos en las clases teóricas, lo que hace más atractivo el aprendizaje de los distintos conceptos estudiados a través de la experimentación, ya sea esta guiada o autónoma.
- Inculcar el sentido del autoaprendizaje en los alumnos como método de trabajo habitual.
- Implicar al alumno en el estudio diario de la asignatura, lo que le permite seguir las clases teóricas con mayor interés.

Objetivo específico

- Proporcionar al alumno una herramienta para obtener la solución de un sistema de tuberías, tanques y bombas, sin la dependencia del profesor, capacitándolo para su autoevaluación en la resolución de ejercicios.

Nomenclatura

D	Diámetro de la tubería	g	Aceleración de la gravedad
f	Coefficiente de fricción	ϵ	Rugosidad
L	Longitud del tramo de tubería	ρ	Densidad
Nr	Número de Reynolds	Z	Elevación de los tanques
Q	Caudal	γ	Peso específico del fluido
ΔC	Delta de cotas	ν	Viscosidad cinemática del fluido

Marco teórico de la solución de sistemas hidráulicos a presión

Descripción del método de Cross

El de Cross es un método iterativo en el que se parte de unos caudales supuestos que cumplen la ecuación de continuidad en cada uno de los nodos de una malla hidráulica. Hecha esta suposición, se realizan ajustes que generalmente conver-

⁶ SICON es un grupo de investigación y desarrollo de la facultad de ingeniería de la Universidad Santo Tomás reconocido por COLCIENCIAS en el año 2002 que cuenta con sendas líneas de investigación multidisciplinarias como son la simulación y el control numérico de las cuales deriva su nombre.

gen a valores estables en pocas iteraciones. La convergencia se controla comparando la norma de las correcciones con un valor de tolerancia determinado (Munson et al., 2002; Potter y Wiggert, 2002).

El método se resume en los siguientes pasos:

1. Se supone inicialmente una cierta distribución de valores de caudal para el sistema en estudio;
2. Se calcula para cada tramo de la malla la pérdida de carga h_f tomando en consideración el signo. La pérdida de carga a lo largo de un tramo puede ser expresada por la siguiente fórmula general:

$$h_f = r Q^n \quad (1)$$

3. Se determina la pérdida de carga total en cada circuito cerrado:

$$\Sigma h_f = \Sigma r Q^n \quad (2)$$

4. Se obtiene en cada circuito cerrado una suma de las cantidades: $n r Q^{n-1}$;
5. Estas cantidades se designan por "R", esto es:

$$R = n r Q^{n-1} \quad (3)$$

6. Se ajusta el valor en cada circuito sumándose o restándose de los valores admitidos, la corrección Δ calculada por la expresión:

$$\Delta = \frac{\Sigma r Q^n}{\Sigma n r Q^{n-1}} \quad (4)$$

La expresión para Δ se obtiene del siguiente análisis:

"Si la distribución de valores adoptados al iniciar fuera exacta, la corrección por hacer en cada circuito sería nula". Esto es: $r Q^n = 0$. En caso contrario el valor debe ser ajustado o corregido en el circuito, pudiéndose escribir para cada tramo que $Q = Q_0 + \Delta$, donde Q_0 es el valor de caudal adoptado inicialmente"

Reemplazando e igualando, se obtiene:

$$r Q^n = r (Q_0 + \Delta)^n = r (Q_0^n + n Q_0^{n-1} \Delta + \frac{n(n-1)}{1 \times 2} Q_0^{n-2} \Delta^2 + \dots) \quad (5)$$

Teniendo en cuenta que Δ es un valor pequeño comparado con Q_0 , todos los términos que contienen Δ elevado a una potencia igual o superior a 2, son despreciables. Esto es,

$$\Sigma r Q^n = r (Q_0 + \Delta)^n = \Sigma r (Q_0^n + n Q_0^{n-1} \Delta) = 0 \quad (6)$$

Es decir,

$$\Delta = - \frac{\Sigma r Q_0^n}{\Sigma n r Q_0^{n-1}} \quad (7)$$

En la expresión (7), el numerador es la pérdida de carga para los caudales supuestos a lo largo del circuito, y el denominador es la "resistencia" total del circuito, o sea, la suma de lo que podrían ser las resistencias de cada uno de los tramos.

La expresión (7) puede escribirse como:

$$\Delta = - \frac{\Sigma h_f}{\Sigma R} \quad (8)$$

Si el valor obtenido de Δ es muy grande frente al de Q_0 , siendo "n" mayor que la unidad, evidentemente la aproximación no será buena. Con todo, esto no perjudicará al proceso una vez que las correcciones se hagan; el error irá disminuyendo progresivamente en una convergencia relativamente rápida.

7. Se recalculan las pérdidas de carga de cada circuito y se determina la nueva corrección para estos caudales.
8. Se repite el proceso hasta que se obtenga la precisión deseada.

Descripción de la ecuación de Darcy-Weisbach

Para aplicar el método de Hardy Cross al análisis de caudal en un sistema de tuberías ramificadas, es necesario el empleo de una fórmula de pérdidas. A continuación se desarrolla el procedimiento con la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$V = \sqrt{\frac{2 h_f g D}{f L}} \quad (9)$$

En la expresión (9), V es la velocidad del fluido en [m/seg]; D el diámetro de la tubería en [m]; g el valor de la gravedad en [m/seg²], L la longitud de la tubería en [m]; f un coeficiente de fricción que depende del número de Reynolds y de la rugosidad relativa, y h_f la pérdida de carga unitaria (Saldarriaga, 1998; Smits, 2003; Sotelo, 1999; Streeter y Wylie, 2000; White, 1994).

Y la ecuación de continuidad (ecuación fundamental de flujo permanente), es:

$$Q = V \times A = V \frac{D^2 \pi}{4} \quad (10)$$

En la expresión (10), A es el área de la sección transversal expresada en m² y Q el caudal expresado en m³/seg. Sustituyendo (9) en (10), se obtiene:

$$Q = \left(\frac{2 h_f g D}{f L} \right)^{1/2} \times \left(\frac{D^2 \pi}{4} \right) = \frac{\pi}{4} \left(\frac{2 h_f g D^5}{f L} \right)^{1/2} \quad (11)$$

La pérdida de carga total h_f en toda la longitud de la tubería L es:

$$h_f = \left(\frac{4Q}{\pi} \left(\frac{f L}{2gD^5} \right)^{1/2} \right)^2 = \left(\frac{4Q}{\pi} \right)^2 \frac{f L}{2gD^5} \quad (12)$$

⁷ El factor de fricción f puede definirse como un "valor constante" o ser calculado, ya sea utilizando la ecuación explícita de "Swamee y Jain" o la expresión implícita de "Colebrook".

Teniendo en cuenta que: $hf = r Q^n$

$$hf = \frac{8fL}{\pi^2 g D^5} Q^2 \quad (13)$$

donde:

$$r = \frac{8fL}{\pi^2 g D^5}, n = 2 \quad (14)$$

Simplificaciones introducidas

Sabiendo que $hf = r Q_0^n$; y:

$$\Delta = -\frac{\sum r Q_0^n}{\sum nr Q_0^{n-1}}; \text{ y } \sum nr Q_0^{n-1} = \frac{\sum nr Q_0^n}{\sum Q_0^n}; \quad (15)$$

se obtiene:

$$\sum nr Q_0^{n-1} = \frac{\sum nh_f}{\sum Q_0^n}; \quad (16)$$

Siendo n constante, la expresión para Δ se convierte en:

$$\Delta = -\frac{\sum r Q_0^n}{\sum nr Q_0^{n-1}} = -\frac{\sum h_f}{\sum n \frac{h_f}{Q_0}} \quad (7)$$

Reemplazando valores en la fórmula de Darcy-Weisbach, para la cual $n = 2$, la corrección se traduce en:

$$\Delta = -\frac{\sum h_f}{\sum 2 \frac{h_f}{Q_0}} \quad (7)$$

Diseño del software

La herramienta computacional Poseidón 1.0 resuelve de manera didáctica uno de los problemas más complejos de la mecánica de los fluidos para los estudiantes de ingeniería civil, como es el análisis de sistemas compuestos de tuberías, tanques y bombas. En los apartados siguientes se presentan la estructura y el uso de la herramienta.

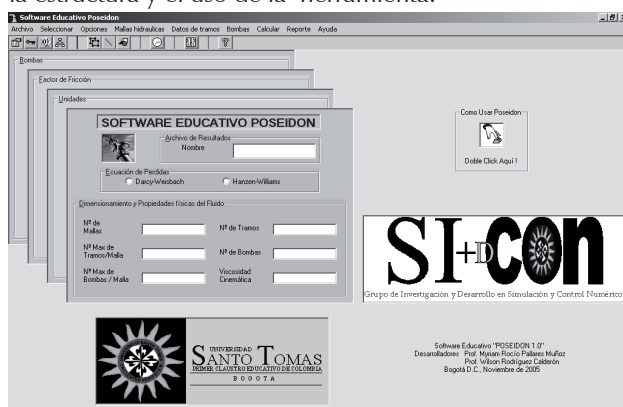


Figura 1. Interfase de usuario del programa Poseidón 1.0

Estructura de la herramienta

El software educativo se estructura en tres partes: preproceso, solución y posproceso. En el preproceso se cargan los datos de entrada del problema, en la solución se lanza el motor de cálculo que resuelve el problema, y en el pospro-

ceso se presentan los resultados del análisis. Cada uno de ellos está compuesto por módulos. En la Figura 1 se muestra la interfase de usuario del programa.

I. Preproceso: entrada de datos



A. Módulo uno: cargar los datos generales del sistema



Propiedades del sistema: En términos generales en esta ventana están contenidos los datos que dimensionan el problema y permiten establecer con qué tipo de formulación de pérdidas será resuelto.

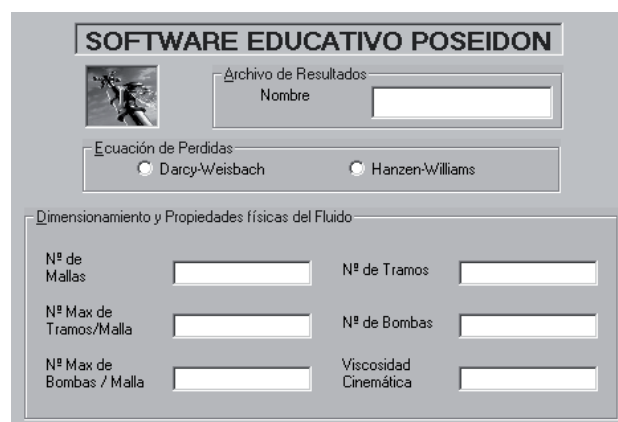


Figura 2. Ventana de propiedades del sistema

Sistema de unidades: En esta ventana se define el sistema de unidades, ya que muchos parámetros de las ecuaciones de pérdidas dependen de él.

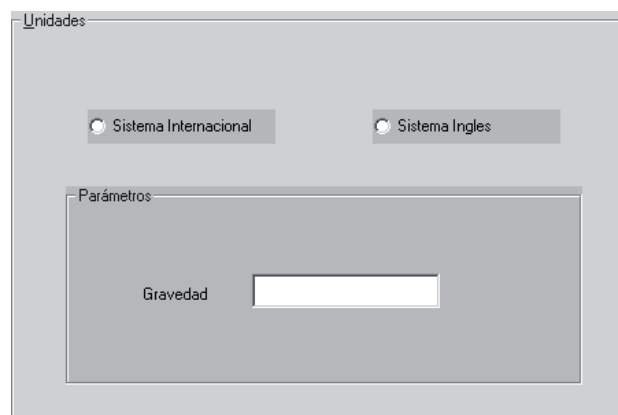


Figura 3. Ventana de sistema de unidades

Factor de fricción: El caso de factor constante simplifica el problema estableciendo una independencia de f tomando como hipótesis que el sistema funciona bajo turbulencia completa.

El caso de factor variable busca simular la realidad teniendo en cuenta que f varía de acuerdo a las condiciones de flujo y

a la rugosidad relativa. En este sentido, el programa recalcula este factor para cada iteración de acuerdo a las condiciones de flujo presentes.

Bombas: En esta ventana se especifica el grado máximo de la ecuación de ajuste de los datos de la bomba y el peso específico del agua. El grado de la ecuación se utiliza para dimensionar la cantidad de coeficientes del polinomio de ajuste y el peso específico para realizar los cálculos relacionados con la potencia de la bomba.

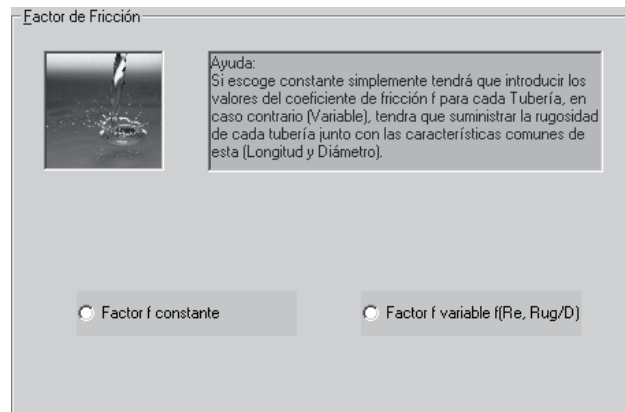


Figura 4. Ventana de opciones de cálculo del factor de fricción

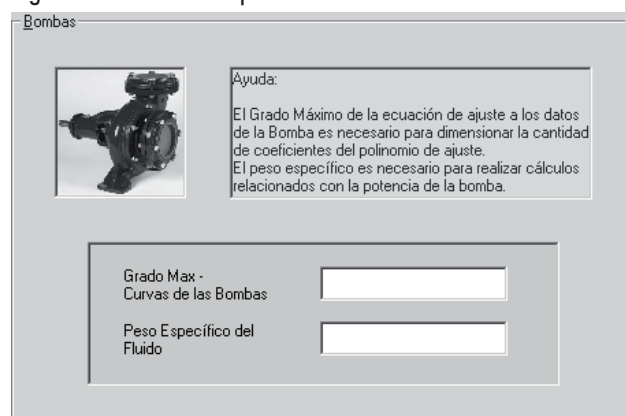


Figura 5. Ventana de datos básicos para el cálculo de las bombas

B. Módulo dos: cargar los datos de los circuitos

(1) Dimensionamiento de las mallas:

Dimensiona cada circuito del sistema en cuanto a cantidad de tramos y bombas.

(2) Etiqueta de tramos y sentido de flujo:

Las etiquetas de los tramos deben ser números enteros y el signo se identifica como 1 ó -1 de acuerdo al sentido del flujo.

(3) Delta de cotas:

Permite tener en cuenta caídas constantes generadas por tanques presentes en el circuito. En el caso de que no existan, este valor es cero.

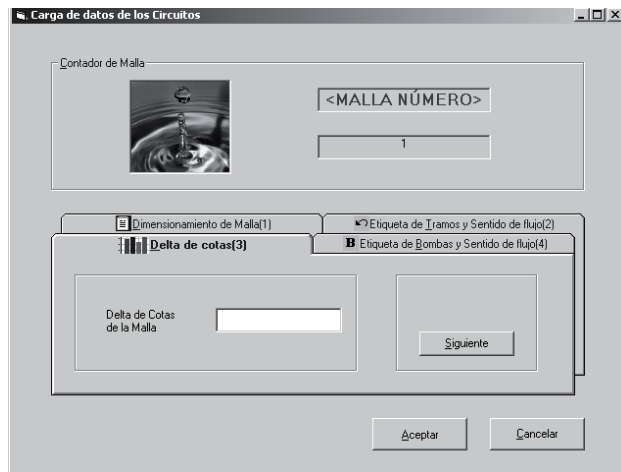


Figura 6. Carpeta de dimensionamiento de las mallas



Figura 7. Carpeta de etiquetas de tramos y sentido de flujo



Figura 8. Carpeta de delta de cotas

(4) Etiqueta de bombas y sentido de flujo:

Las etiquetas de las bombas deben ser números enteros y el signo se identifica como 1 ó -1 de acuerdo al sentido del flujo del tramo al que pertenece la bomba.

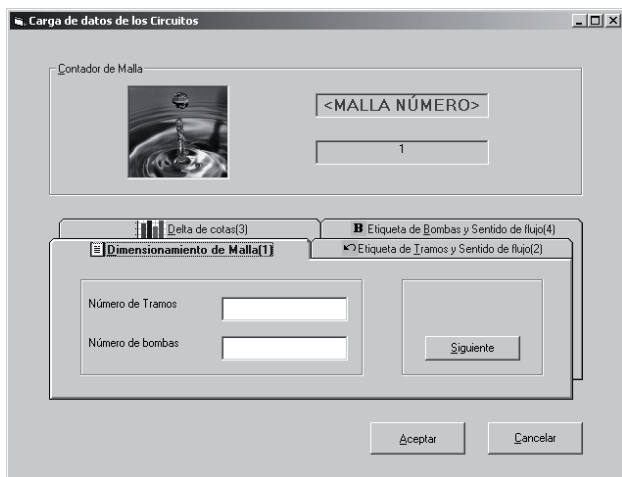


Figura 9. Carpeta de etiquetas de tramos y sentido de flujo

C. Módulo tres: cargar los datos de los tramos

Este módulo permite cargar los datos característicos de los tramos para el cálculo de pérdidas, de acuerdo a la selección que se realiza en la ventana del factor de fricción (ver Figura 4).

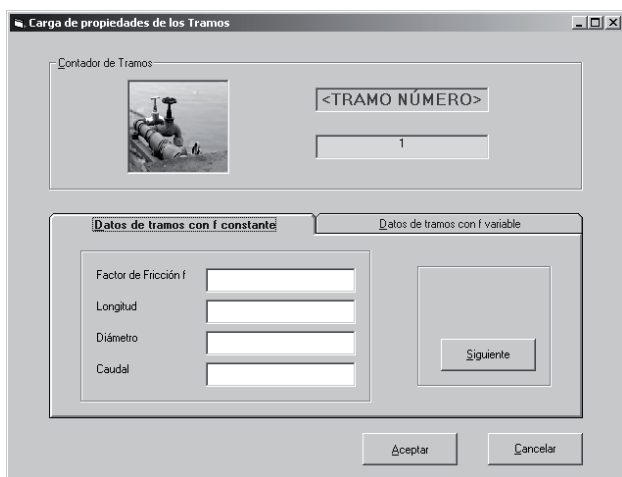


Figura 10. Carpeta de datos de f

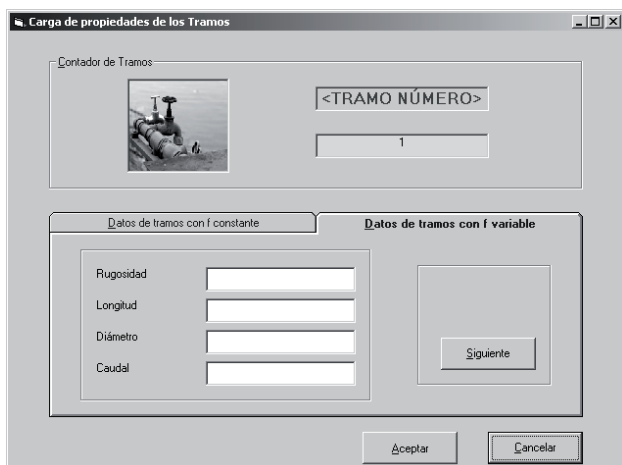


Figura 11. Interfase de usuario del programa Poseidón 1.0

D. Módulo cuatro: cargar las propiedades de la bomba

En este módulo se cargan los datos característicos de las bombas, ya sea por potencia o por curva característica.

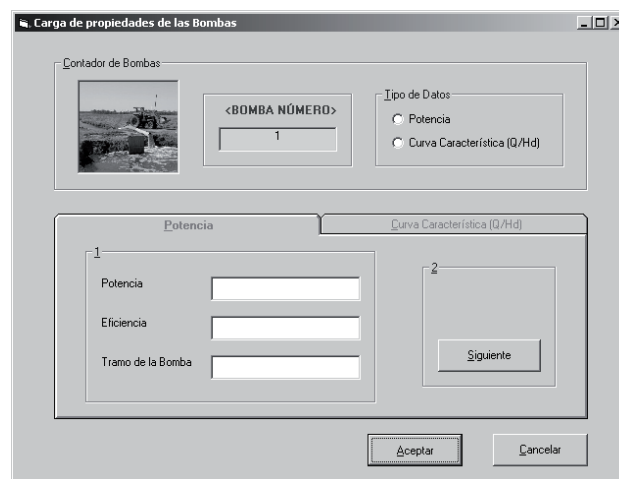


Figura 12. Interfase de usuario del programa Poseidón 1.0

Es necesario especificar el tramo donde se encuentra instalada cada bomba.

II. Solución: motor de cálculo

E. Módulo cinco: calcular

En este módulo se lanza el motor de cálculo basado en el método de Cross. En él se contabiliza el error total acumulado que engloba todos los errores calculados de cada circuito (corrección de caudal).



Figura 12. Interfase de usuario del programa Poseidón 1.0

III. Posproceso: presentación de resultados

F. Módulo seis: reporte de cálculos

El *link* Reporte permite abrir el archivo de resultados en formato de texto. En este documento queda consignado para cada iteración el factor de fricción, el número de Reynolds,

la corrección de caudal de cada malla, así como los caudales corregidos para cada tramo.

Uso de la herramienta

Lo primero que se debe conseguir es la familiarización del alumno con la interfaz de usuario del programa, es decir, el estudiante debe aprender a iniciar una sesión de trabajo, crear un nuevo proyecto y distinguir entre los diferentes módulos que lo componen. Una vez conseguido este primer objetivo se introduce al alumno en el uso del programa, esto es, los pasos previos que se deben realizar y la convención de signos que utiliza el programa. Estas consideraciones se ilustran en el ejemplo anterior.

Ejemplo

Título: Determinación de caudales en un sistema hidráulico (Problema 11.40)

Referencia: Streeter, V. L., Mecánica de los fluidos., McGraw-Hill Book Company, 1988, pp. 471.

Problema: Con los datos de la bomba colocada en el sistema de la Figura 13, encuéntrese el flujo en el tanque B (temperatura del agua: 20°C).

Tabla 1. Datos de la bomba

H (m)	Q (l/s)	e %
24,4	0	0
21,3	74	54
18,3	112	70
15,2	140	80
12,2	161	73
9,1	174	60
6,1	177	40

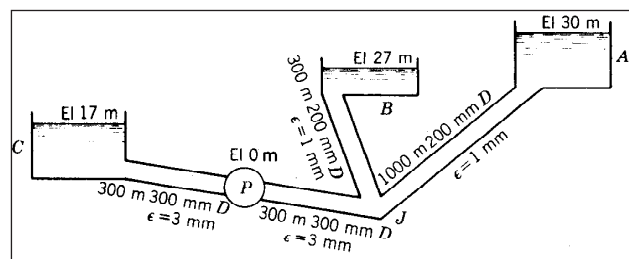


Figura 13. Idealización del sistema

Pasos previos antes de trabajar con Poseidón 1.0

Primero: cerrar el sistema. Esto es, unir los tanques por medio de tramos ficticios. Estos tramos son útiles para determinar el signo del delta de cotas (ΔC en la Figura 14).

Segundo: etiquetar con números los componentes del sistema, o sea, mallas, tramos y bombas.

Tercero: suponer los caudales en el sistema:

- Caudal en los tramos reales: deben cumplir la ecuación de continuidad ($Q_1 = Q_2 + Q_3$, en la Figura 14).

- Caudal en los tramos ficticios: no existe. Sin embargo, para efectos de determinar el signo del delta de cotas se supone un flujo ficticio que va siempre del tanque de mayor al de menor altura.

Cuarto: determinar los signos de las mallas, los tramos reales y los tramos ficticios.

Quinto: elaborar un cuadro de resumen del sistema (número de mallas, de tramos, de bombas y etiquetas de las mismas con signo). (Ver Tabla 2).

Convención de signos para trabajar con Poseidón 1.0

Primero: Mallas: “siempre en el sentido de las agujas del reloj” (mallas I y II en la Figura 14).

Segundo: Tramos reales:

- Positivos: cuando coinciden con el sentido de la malla.
- Negativos: cuando van en sentido contrario a la malla.

Tercero: Tramos ficticios: “siguen la misma convención de los tramos reales”.

Cuarto: Para las bombas: “siempre llevan el signo del tramo en el que se encuentran”.

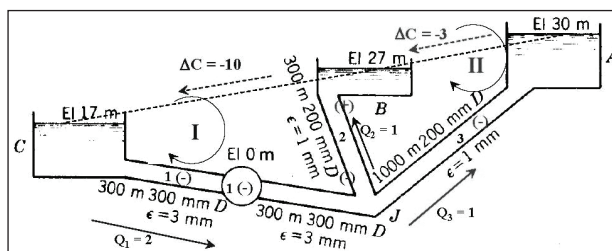


Figura 14. Configuración del sistema para trabajar con Poseidón 1.0 (etiquetas de los componentes del sistema y signos)

Tabla 2. Resumen del sistema

Por continuidad:		Datos de la bomba			Bomba 1	
$Q_1 = Q_2 + Q_3$		H (m)	Q (m³/s)	e %	Tramo	Signo
$2 = 1 + 1$		24,4	0,000	0	1	-
Número de mallas	2	Malla I				
Número de tramos	3	21,3	0,074	54	Tramo	Signo
Número de bombas	1	18,3	0,112	70	1	-
		15,2	0,140	80	2	-
		12,2	0,161	73	Malla II	
		9,1	0,174	60	Tramo	Signo
		6,1	0,177	40	2	+
		Grado máximo de la curva de la bomba = 3				
					3	-

Comparación de resultados

En la Tabla 4 se presenta la comparación entre la solución de referencia (Streeter, 2000) y el software educativo Poseidón 1.0. La variación es mínima y puede ser atribuida a la diferencia que existe entre los grados de precisión en los dos algoritmos.

Tabla 3. Datos del problema

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor	Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
L_1	600 m	D_1	0,3 m	ϵ_1	0,003 m	Z_A	30 m
L_2	300 m	D_2	0,2 m	ϵ_2	0,001 m	Z_B	27 m
L_3	1.000 m	D_3	0,2 m	ϵ_3	0,001 m	Z_C	17 m
T	20 °C	g	9.806 m/s ²	v	1.007E-6 m ² /s	γ	9789 N/m ³

Tabla 4. Comparación de resultados

Caudal tramo B solución de referencia (Figura 13)	Caudal tramo 2 solución poseidón 1.0 (Figura 14)	Porcentaje de variación
0,05615 [m ³ /s]	0,05296 [m ³ /s]	5,7

Conclusiones

La enseñanza en ingeniería debe adaptarse a la sociedad en la que se desarrolla y para ello debe utilizar todas las herramientas a su alcance; hoy en día la utilización del computador en las aulas de clase es algo ineludible y necesario para formar técnicos capaces de afrontar con seguridad su vida profesional. Además, las capacidades multimedia del computador permiten envolver las clases en un entorno que las haga atractivas para el alumno.

Por otra parte, la creación de buenos materiales multimedia requiere de gran trabajo y dedicación por parte del docente, la mayor parte de las veces poco reconocido y menos recompensado, así como de un proceso de ajuste basado en la experiencia y que ha de ser constante como lo son los cambios en nuestros estudiantes.

Los materiales desarrollados con las nuevas tecnologías van a permitir modificar la concepción de las clases tradicionales de ingeniería, dejando de lado la llamada clase magistral y tratando de seducir al alumno para que aporte más trabajo personal en el proceso de aprendizaje. Esto representa una de las bases ideológicas de la reforma educativa. Además, aumenta la participación en la clase, tan difícil de conseguir hoy en día.

El uso del *software* educativo es un acierto, ya que permite al estudiante profundizar en los conceptos dejando de lado el esfuerzo que suponen cálculos tediosos. Esto, junto a cierto método deductivo de trabajo, le motiva para seguir aprendiendo. De hecho, los alumnos pueden utilizar el programa como ayuda en otras materias (ejemplo hidráulica, acueductos y alcantarillados).

La utilización del computador como medio docente debe llevar aparejados algunos cambios en los contenidos a impartir. Ya no es necesario dedicar excesivo tiempo a los métodos de cálculo tradicionales, sino que se puede emplear en que el alumno comprenda mejor los conceptos. Para tal

fin, las capacidades *software* educativo son importantes.

El *software* educativo permite obtener resultados de forma ágil y segura, en contraposición al uso de calculadoras tradicionales; la experimentación autónoma del alumno constituye un ejercicio estructurador de la mente que debe ser considerado como de gran importancia en la formación de un técnico.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la Universidad Santo Tomás de Bogotá.

Bibliografía

- Angel, A. J. y Bautista, G., Didáctica de las Matemáticas en enseñanza superior: la utilización de *software* especializado., disponible en www.uoc.edu/web/esp/art/uoc/0107030/mates_imp.html, 2001.
- Aguilar, M. E., El diálogo en el aula: ¿Una alternativa al tradicional método de selección natural en la enseñanza de las Matemáticas?., Tesis doctoral, Universidad de Valladolid, 2002.
- Aho, A. V. E., Hopcroft, J. D. and Ullman., The Design and Analysis of Computer Algorithms., Editorial Addison Wesley, 1974.
- Ansys User Manual / Revision 5.0., Swanson Analysis Systems, Inc. Houston.
- Franzini, J. B. y Finnemore, E. J., Mecánica de fluidos con aplicaciones en ingeniería., Editorial McGraw-Hill Interamericana, Madrid, 1999.
- Gear, C. W., Numeric initial value problems in ordinary differential equations., Editorial Prentice Hall, New York, 1971.
- Giles, R. V., Evett, J. B. y Liu, Ch., Mecánica de los fluidos e hidráulica., Editorial McGraw-Hill Interamericana, Madrid, 1994.
- La enseñanza superior en el siglo XXI: Estrategias de futuro., Texto de la declaración de la World Conference on Higher Education, París, 1998.
- Mathews., Métodos Numéricos con Matlab., Editorial Pearson, México, 2000.
- Mott, R. L., Mecánica de fluidos aplicada., Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana, México, 1996.
- Munson, B. R., Young, D. F. y Okiishi, T. H., Fundamentos de Mecánica de Fluidos., Editorial Limusa., México, 2002.
- Potter, M. C., Wiggert, D. C., Mecánica de fluidos., Editorial Thomson, México, 2002.
- Burden, R., y Faires., Análisis Numérico., Editorial Thompson Internacional, México, 1998.
- Saldarriaga, J. G., Hidráulica de tuberías., Editorial McGraw-Hill Interamericana, México, 1998.

Smits, A. J., Mecánica de fluidos, Una introducción física., Editorial Alfaomega, México, 2003.

Sotelo Ávila, G., Hidráulica general., México: Editorial Limusa, 1999.

Streeter, V. L., Wylie, E. B., Mecánica de fluidos., Editorial McGraw-Hill Interamericana, México, 2000.

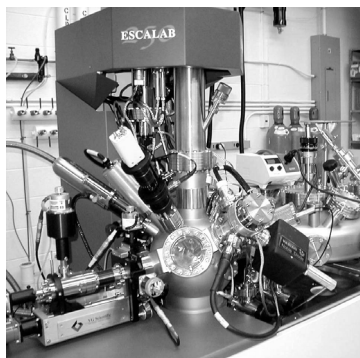
White, F. M., Fluid mechanics., Editorial McGraw Hill, Inc. New York, 1994.

Zienkiewicz, O. C. y Taylor, R. L., El Método de los Elementos Finitos., Editorial Mc. Graw – Hill, Barcelona, 1994.

Dirección Nacional de Laboratorios

Dependencia encargada de velar por el óptimo aprovechamiento del recurso tecnológico existente, la modernización paulatina de los equipos, el cumplimiento de las normatividades de orden nacional e internacional en sus instalaciones y procedimientos.

17 Laboratorios distribuidos entre las sedes de Bogotá, Manizales, Medellín, Palmira y Orinoquia conforman la Red Nacional de Laboratorios Interfacultades con Equipos Robustos de alta tecnología que están en capacidad de prestar servicios altamente especializados a la comunidad de investigadores del sector público y privado. Dentro de estos equipos se encuentran: Espectrómetro de Fluorescencia de Rayos X, Microscopio Electrónico de Barrido, Microscopio Electrónico de Transmisión, Cromatógrafo de Gases con detector FID, Difractómetro de Rayos X, Espectrómetro de Fotoelectrones de Rayos X (XPS), Espectrómetro Infrarrojo por Transformada de Fourier y Espectrofotómetro de Absorción Atómica que permiten hacer por medio de técnicas bien definidas, análisis microestructurales proporcionando datos sobre la composición química o física de una muestra biológica o mineral, Espectrómetro de Resonancia Magnética Nuclear para el análisis de estructuras moleculares de compuestos orgánicos, Analizador Térmico Simultáneo STA que posee sensores para análisis termodiferencial y análisis termogravimétrico, Máquina de Prototipado Rápido para generación de prototipos a partir de la captura y digitalización 3D en un archivo CAD y Microscopios Ópticos con cualidades ópticas especiales como polarización con epiluminación y transiluminación, campo oscuro, contraste de fases y epifluorescencia.



Espectrómetro de Fotoelectrones de Rayos X (XPS)– Laboratorio de Física del Plasma - Manizales



Laboratorios interfacultades	
Sede Arauca	Laboratorio de Suelos y Aguas
Sede Bogotá	Laboratorio de Fluorescencia de Rayos X (XRF) Laboratorio de Microscopía Óptica Laboratorio de Microscopía Electrónica de Transmisión (TEM) Laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido Laboratorio de Patología Anatómica Laboratorio de Prototipado Rápido Espectrómetro de Resonancia Magnética Nuclear
Sede Manizales	(Laboratorio de Física del Plasma) Microscopía de Barrido por Sonda (SPM) Laboratorio de Difractometría de Rayos X (XRD) Laboratorio de Espectroscopía de Fotoelectrones de Rayos X (XPS) Laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (Ftir) Laboratorio de Recubrimientos Duros PVD 1000
Sede Medellín	Laboratorio de Análisis Térmico (Latem) Laboratorio de Bioconversiones Laboratorio de Biofísica Microscopía Electrónica de Barrido Laboratorio de Biotecnología Laboratorio de Instrumentación Analítica
Sede Palmira	Laboratorio de Química de Suelos y Agua Física de Suelos y Análisis Ambiental

Mayor información: sobre los servicios y las tarifas de los laboratorios consulte la página de la Dirección Nacional de Laboratorios www.laboratorios.unal.edu.co