

Desarrollo de una herramienta computacional para la simulación de la dinámica del flujo transitorio en procesos de vaciado y llenado de tanques

Development of a computational tool for transient flow dynamics simulation in emptying and filling tanks processes

Ángel Rivas, José Díaz, Enrique Flores, Lissette Hornebo

Palabras clave: herramienta computacional, flujo transitorio, tanque

Key words: computational tool, transient flow, tank

RESUMEN

Existen diversos software para la simulación del comportamiento de una red de flujo de fluidos que funcionan en un sistema operativo en particular y que carecen de la capacidad de simular una red con procesos de flujo transitorio de vaciado y llenado de tanques. El siguiente trabajo muestra el desarrollo de una herramienta computacional para la simulación de la dinámica del flujo transitorio en procesos de vaciado y llenado de tanques en redes de flujo, como aporte para contribuir a llenar el vacío existente en relación a software de simulación para este tipo de procesos. Se contemplaron cinco etapas: modelado matemático del fenómeno; elaboración de la herramienta computacional; comparación de los resultados obtenidos a través de la herramienta con los obtenidos usando métodos manuales; prueba de la herramienta en plataformas computacionales distintas y prueba de usabilidad de la herramienta. Se obtiene una herramienta que funciona en plataformas distintas, que ofrece resultados con diferencias de pequeña magnitud en relación a los resultados ofrecidos empleando el método gráfico, y que presenta un alto nivel de aceptación por parte del usuario de acuerdo

a las pruebas realizadas, constituyéndose como un recurso de utilidad para estudiantes y profesionales.

ABSTRACT

There are diverse software for simulating the behavior of a fluid flow network who work in a particular operative system without the ability of simulate a network with transient flow of emptying and filling tanks processes. This work shows the development of a computational tool for transient flow dynamics simulation in emptying and filling tanks processes in flow networks, for contributing to fill the vacuum in existing of simulation software for this kind of process. This work has five stages: mathematical modelling, development of the computational tool, comparison of results obtained with the tool versus results obtained with graphical methods, proof of the tool in different computational platforms and usability proof of the tool. It produces a tool who works in different platforms, who produces results with little differences in relation to results obtained using graphical methods, with high acceptance level from user according to proofs done, constituting a utility resource for students and professionals.

INTRODUCCIÓN

Las simulaciones pueden ser definidas como representaciones computacionalmente correctas de una situación que ofrece al usuario el control sobre el resultado del programa, pudiéndose considerar una clase particular de herramienta para el aprendizaje basada en el computador (Davies, 2002). Bajo este enfoque, el utilizar software para la ingeniería se relaciona estrechamente con el simular procesos de ingeniería. El logro de la competencia de utilizar software para ingeniería requiere la articulación efectiva de diversas capacidades, entre las cuales se puede detallar la capacidad para identificar y seleccionar herramientas disponibles, la capacidad de conocer e identificar los alcances y limitaciones de las herramientas a utilizar, de reconocer los campos de aplicación de cada una de ellas, y de aprovechar toda la potencialidad que ofrecen (Documentos de CONFEDI, 2014). En el ámbito de la mecánica de los fluidos, el flujo interno se entiende como el fenómeno en el cual el flujo está delimitado por una superficie sólida (Fox y Mc Donald, 1995). La superficie sólida se denomina conducto o tubería, y en el caso del flujo interno la tubería usualmente está totalmente llena con el fluido; siendo la diferencia de presión el principal factor que produce el movimiento del fluido. Es común encontrar situaciones donde se aplica la teoría de flujo de fluidos en tuberías: en la distribución de agua potable, en el transporte de petróleo y gas natural, y

en los sistemas de calefacción y de enfriamiento, entre otros. En general, las soluciones teóricas a problemas de flujo de fluidos se obtienen sólo para pocos casos simples (Cengel y Cimbala, 2006).

En el ámbito industrial, los sistemas de conducción de fluidos por lo general comprenden una gran cantidad de tuberías, muchas de ellas unidas entre si formando redes (Valiente, 2002). En el análisis de una red de flujo, pueden considerarse como elementos constitutivos esenciales los indicados a continuación: Resistencias (tuberías y accesorios), Fuentes/Sumideros (Tanques) y Turbo máquinas (Bombas o compresores encargados de mover fluidos) (Laya, 1995). En este contexto, una fuente (o tanque) se considera ideal cuando su contenido energético (capacitancia), parámetro asociado a la cantidad de fluido almacenado en esta fuente se considera fijo en el transcurso del tiempo independiente de las magnitudes de los flujos (caudales) que atraviesan las tuberías que conforman la red. Esto es característico de un tanque donde se considera que no hay variación de la cantidad de fluido que almacena dicho tanque. Así mismo, una fuente (o tanque) se considera real cuando su contenido energético varía en el tiempo, ocasionando cambios en las magnitudes de los flujos (caudales) que atraviesan las tuberías que conforman la red a medida que transcurre el tiempo. Esta variación de contenido energético asociado al tanque se produce

debido a un aumento o disminución de la cantidad de fluido almacenado en este tanque. Puesto que existe variación en el contenido energético de una fuente real, propiedad de la misma, y existe variación en las magnitudes de los caudales de la red, un proceso de flujo que involucra una fuente real tiene carácter de proceso de flujo transitorio, siendo un rasgo fundamental de este tipo de procesos que tienen un tiempo finito de duración; un estado inicial y un estado final (Cengel y Boles, 2012). La caracterización de la variación del contenido energético de un tanque real donde se almacena fluido incompresible (fluido con cambios de densidad de pequeña magnitud ante cambios en la presión), y donde se puede mantener la presión ejercida sobre el en el tanque en un valor fijo, se hace a través de la magnitud de la altura del fluido respecto a una línea de referencia horizontal (nivel) que se tenga en un determinado instante de tiempo: si el nivel del fluido aumenta con el tiempo (llenado), el contenido energético aumenta, caso contrario (vaciado), disminuye.

El análisis del comportamiento de una red de flujo en general se realiza a partir de la aplicación de la ley de la conservación de la masa y de la ley de la conservación de la energía a las tuberías que conforman la red, produciéndose un sistema de ecuaciones que en general es no lineal y que conduce a la aplicación de técnicas iterativas que producen una aproximación de los valores que caracterizan (simulan) el comportamiento del sistema (Fox y Mc

Donald, 1995). Como alternativa, el análisis de una red puede hacerse empleando métodos gráficos (Laya, 1995).

Investigaciones previas (Flores y otros, 2016; Flores y otros, 2018), indican que existen diversos software para la simulación del comportamiento de una red de flujo. Pipe Flow es utilizado por diseñadores de sistemas de tuberías e ingenieros en más de 100 países en todo el mundo. Calcula los caudales, caídas de presión en tuberías y rendimiento de algunas turbomáquinas. Puede modelar sistemas de tuberías con múltiples puntos de suministro, tanques de descarga, componentes, válvulas y arreglos de turbomáquinas en serie o en paralelo (Pipe Flow, 2018). Otros software con características y aplicaciones similares a Pipe Flow son Epanet y Watercad (Flores y otros, 2016). Estos software emplean en general técnicas iterativas y son desarrollados para funcionar en plataformas computacionales bajo el sistema operativo Windows, presentando problemas de portabilidad en virtud que si son desarrollados para funcionar en una determinada versión de dicho sistema operativo, presentan dificultades en su instalación y funcionamiento en versiones distintas para la que fueron desarrollados. Como aspecto adicional y resaltante, estas herramientas permiten la simulación de redes de flujo que contengan fuentes ideales, sin ofrecer opción a la simulación de redes de flujo que contengan fuentes reales. Algunos de estos software

requieren licencia de propietario para su funcionamiento.

Por otro lado dentro de la Universidad de Carabobo recientemente se han desarrollado software para el análisis de redes de flujo; como es el caso del software FluidNet 2.0 (Goncalves y Pacheco, 2019). Este software en particular permite el análisis de redes de flujo, mediante la aplicación de métodos gráficos. Similar al caso de Pipe Flow, Epanet y Watercad, estas herramientas permiten la simulación de redes de flujo que contengan fuentes ideales, sin ofrecer opción a la simulación de redes de flujo que contengan fuentes reales.

El cálculo en el análisis de redes de flujo que contienen tanques reales, redes que se observan con mucha frecuencia en situaciones reales, es en esencia repetitivo; lo cual en gran parte obedece a la complejidad de la geometría del tanque real que interviene en el proceso, y lo que a su vez trae como consecuencia el consumo de tiempo de cálculo apreciable. Por otra parte, limitar el sistema operativo para el cual funcione un software desarrollado evidentemente limita su accesibilidad al momento de ser requerido.

El siguiente trabajo muestra el desarrollo de una herramienta computacional para la

simulación de la dinámica del flujo transitorio en procesos de vaciado y llenado de tanques en redes de flujo, como aporte para contribuir a llenar el vacío existente en relación a software de simulación de redes de flujo que contengan fuentes reales. Esta herramienta se desarrolló de tal forma que funcione tanto en el sistema operativo Windows como en sistemas operativos alternativos a este con el fin de ampliar la accesibilidad de esta herramienta a estudiantes y profesionales que requieran de su uso. Las etapas de realización de este trabajo se indican a continuación: primera etapa, definición del modelado matemático que fundamenta el fenómeno de flujo transitorio en el vaciado y llenado de tanques; segunda etapa, elaboración de la herramienta computacional para el cálculo en problemas de vaciado y llenado de tanques; tercera etapa, comparación de los resultados obtenidos a través de la herramienta computacional desarrollada con los obtenidos usando métodos manuales; cuarta etapa, realización de una prueba piloto de la herramienta computacional en plataformas computacionales distintas; quinta etapa, realización de una prueba de usabilidad de la herramienta desarrollada.

METODOLOGÍA

Primera etapa: Modelado matemático

Llenado de tanques. Considérese el sistema mostrado en la Figura 1. En esta figura, el punto 1 corresponde al tanque real. Definiéndose las siguientes variables:

H_1 : Carga hidráulica en el punto 1. [m]

H_0 : Carga hidráulica en el punto 0. [m]

h_{01} : Pérdida de carga entre 0 y 1. [m]

H_{maq} : Carga suministrada por la bomba.

[m]

Aplicando un balance de energía entre el punto 0 y el punto 1, se tiene:

$$H_1 = H_0 - h_{01} + H_{maq} \quad (1)$$

La pérdida de carga se calcula a través de:

$$h_{01} = h_T + h_a \quad (2)$$

Donde:

h_T : Pérdidas de carga en tuberías [m], las cuales se calculan usando la ecuación de D'Arcy-Weisbach.

h_a : Pérdidas de carga en válvulas y accesorios [m], las cuales se calculan mediante las fórmulas propuestas por los Laboratorios Crane (Crane, 1989).

Conocidos los valores de H_0 , h_{01} y H_{maq} para diferentes valores del caudal Q que pasa por el tramo entre el punto 0 y el punto 1, los pares de valores (Q, H_1) que satisfacen la ecuación (1) representan la curva de comportamiento del tanque real.

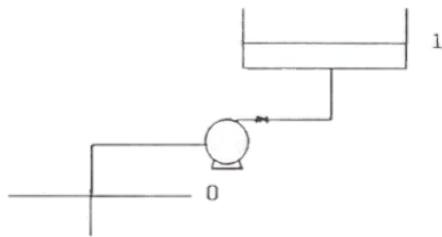


Figura 1. Llenado de tanque real. Fuente: Laya (1995).

Vaciado de tanques. Considérese el sistema mostrado en la Figura 2. En esta figura, el punto 0 corresponde al tanque real. Tomando la misma definición de variables de la ecuación (1), y aplicando un balance de energía entre el punto 0 y el punto 1, se tiene:

$$H_0 = H_1 + h_{01} - H_{maq} \quad (3)$$

Los pares de valores (Q, H_0) que satisfacen la ecuación (3) representan la curva de comportamiento del tanque real.

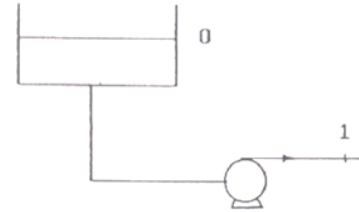


Figura 2. Vaciado de tanque real. Fuente: Laya (1995).

Trasegado de tanques. Considérese el sistema mostrado en la Figura 3. En esta figura, tanto el punto 0 como el punto 1 corresponden a tanques reales, donde el tanque que corresponde al punto 0 se vacía y el tanque que corresponde al punto 1 se llena. Tomando la misma definición de variables de la ecuación (1), y aplicando un balance de energía entre el punto 0 y el punto 1, se tiene:

$$H_1 - H_0 = H_{maq} - h_{01} \quad (4)$$

Los pares de valores $(Q, H_1 - H_0)$ que satisfacen la ecuación (4) representan la curva de variación de volúmenes de los tanques reales.

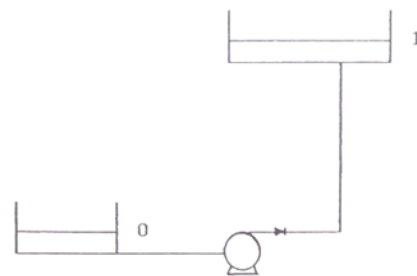


Figura 3. Trasegado de tanques reales. Fuente: Laya (1995).

Variación del volumen del tanque real. La variación del volumen en función del tiempo es descrita a través de la ecuación 5:

$$Q dt = dV \quad (5)$$

Donde:

Q : Caudal [$\frac{m^3}{s}$].

dt : Diferencial de tiempo [s].

dV : Diferencial de volumen [m^3].

Para intervalos de tiempo muy pequeños, la ecuación (4) puede aproximarse a:

$$\bar{Q} \Delta t = \Delta V \quad (6)$$

Donde:

\bar{Q} : Caudal promedio en el intervalo de tiempo

Δt [$\frac{m^3}{s}$].

Δt : Intervalo de tiempo [s].

ΔV : Variación de volumen [m^3].

De la ecuación (5), se deduce el tiempo promedio Δt requerido para una variación de volumen ΔV :

$$\Delta t = \frac{\Delta V}{\bar{Q}} \quad (7)$$

Selección de geometrías de los tanques reales. Mediante revisión documental, se determinaron como geometrías a considerar en el desarrollo de la herramienta computacional las siguientes:

- Tanque de sección rectangular constante.
- Tanque de cilíndrico recto de eje vertical.
- Tanque cilíndrico recto de eje horizontal.
- Tanque esférico.
- Tanque elíptico recto de eje horizontal.

Para cada una de estas geometrías se determinó, conocidas las dimensiones características para cada geometría, la expresión del volumen en función de la altura. Por ejemplo, para la geometría de un tanque esférico de radio r , el volumen del fluido almacenado en este tanque a la

altura z medida desde la parte más baja del tanque es:

$$V(z) = \pi(rz^2 - \frac{z^3}{3}) \quad (8)$$

Segunda etapa: Elaboración de la herramienta

Algoritmo de cálculo del tiempo de vaciado. Se construye un algoritmo cuyos pasos son:

-Se construye la curva de comportamiento del tanque real, a partir de la ecuación (1), (3) o (4) según sea el caso.

-Se lee desde la curva de comportamiento del tanque real un conjunto de valores de caudal Q_i y de carga H_i comprendidos entre el estado inicial y el estado final del proceso de flujo transitorio; para cada H_i se determina la altura del tanque real z_i correspondiente.

-Para cada z_i se determina el volumen correspondiente $V(z_i)$; para el caso del tanque esférico, se emplea la ecuación (8).

-Para cada subintervalo consecutivo comprendido entre el estado inicial y el estado final del proceso de flujo transitorio, se determina la variación del volumen ΔV_i y el caudal promedio del subintervalo \bar{Q}_i ; y a partir de estos valores determinados se calcula el tiempo Δt_i , transcurrido para la variación de volumen determinada, mediante el uso de la ecuación (7).

-El tiempo total del proceso se calcula sumando todos los Δt_i calculados.

Selección del paradigma de programación y del lenguaje de programación para la implementación del algoritmo construido y para la interfaz gráfica. Se seleccionó

como paradigma de programación la programación orientada a objetos, para aprovechar su capacidad de disminuir la relación de dependencia entre los componentes del programa.

Se seleccionó como lenguaje de programación el lenguaje de programación Java debido a que los programas escritos en este lenguaje funcionan en diferentes sistemas operativos (Flores, 2007), e inclusive se cuenta con emuladores que permiten su funcionamiento en dispositivos móviles.

Diseño del entorno gráfico. En las figuras 4-14, se muestran algunas de las ventanas de la herramienta desarrollada con una breve descripción de su función.

Ventana de entrada (figura 4): permite al usuario configurar la información inicial para la ejecución del programa.

Área de dibujo (figura 5): permite al usuario la construcción del esquema de la red a simular. El usuario pulsa sobre el elemento (tanque, tubería, válvula, bomba, punto de flujo, etc.) y lo arrastra hacia la cuadrícula donde se construye el esquema de la red.

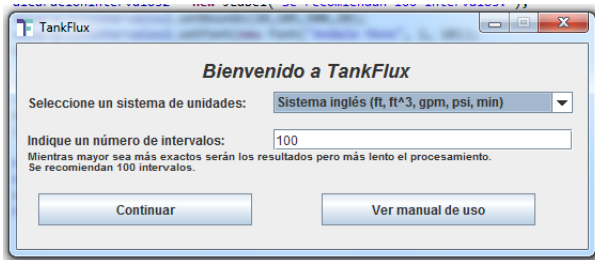


Figura 4. Ventana de entrada. Fuente: Elaboración propia (2019).

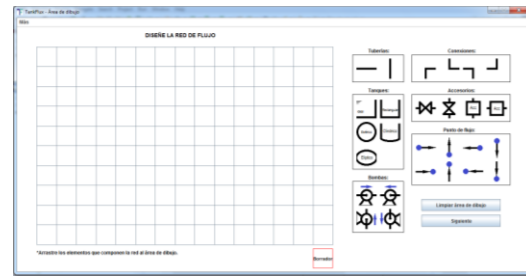


Figura 5. Área de dibujo. Fuente: Elaboración propia (2019).

Pulsando sobre los elementos añadidos a la red, se activan ventanas de configuración de las características de dichos elementos.

Para la configuración de tanques, tuberías, accesorios y bombas, se muestran las ventanas en las figuras 6, 7, 8 y 9.

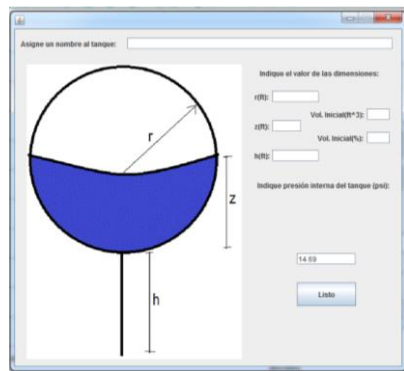


Figura 6. Configuración de tanque real. Fuente: Elaboración propia (2019).

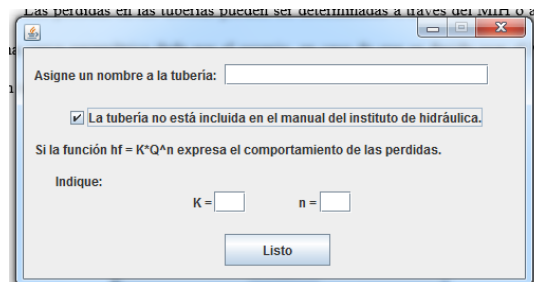


Figura 7. Configuración de tubería. Fuente: Elaboración propia (2019).

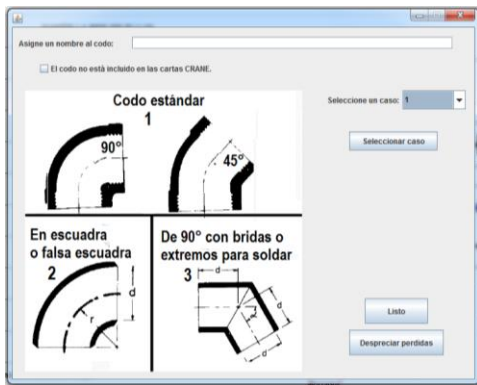


Figura 8. Configuración de accesorio (codo). Fuente: Elaboración propia (2019).

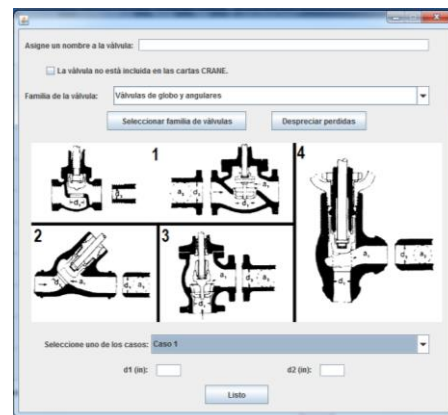


Figura 9. Configuración de accesorio (válvula). Fuente: Elaboración propia (2019).

Ventana secundaria: se activa al pulsar el botón “siguiente” en el Área de dibujo. Permite al usuario seleccionar el resultado

que desea visualizar producto de la simulación.

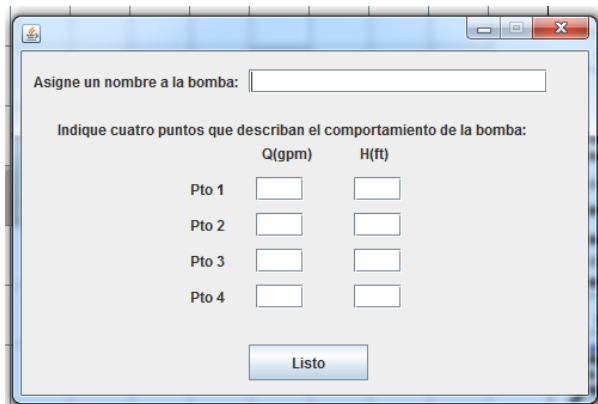


Figura 10. Configuración de bomba. Fuente: Elaboración propia (2019).

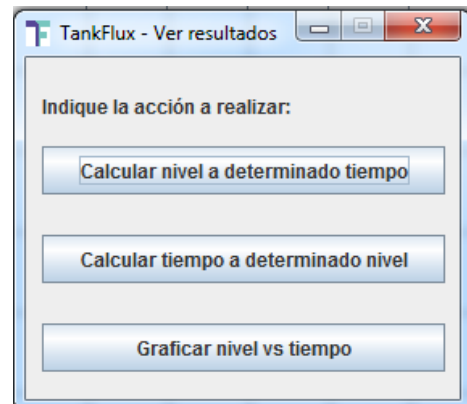


Figura 11. Ventana secundaria. Fuente: Elaboración propia (2019).

La selección de alguna de las opciones mostradas en la ventana secundaria lleva a las ventanas asociadas a cada opción, mostradas en las figuras 12, 13 y 14.

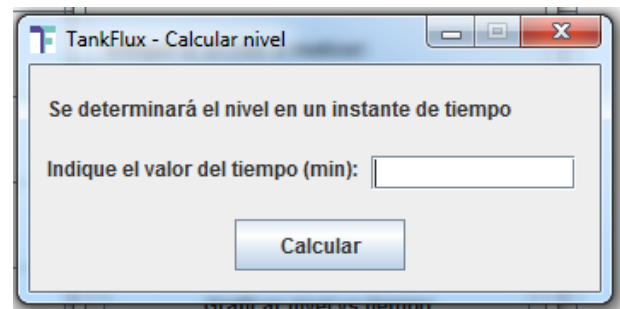


Figura 12. Ventana Calcular nivel. Fuente: Elaboración propia (2019).

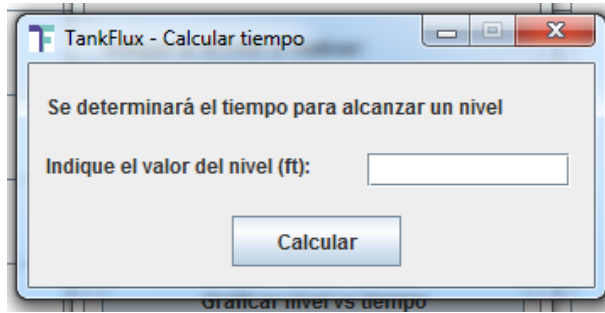


Figura 13. Ventana Calcular tiempo. Fuente: Elaboración propia (2019).

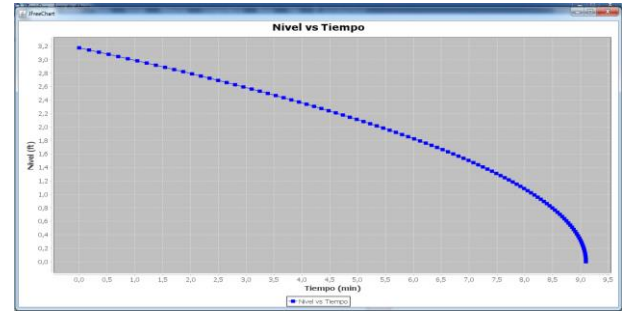


Figura 14. Ventana Nivel vs Tiempo. Fuente: Elaboración propia (2019).

Tercera etapa: Comparación de los resultados obtenidos a través de la herramienta computacional desarrollada con los obtenidos usando métodos manuales.

Se tomaron dos problemas de redes de flujo que contienen tanques reales, y se compararon los resultados obtenidos mediante resolución manual empleando el método gráfico de análisis de redes de flujo descrito en el material bibliográfico de Laya (1995) con los resultados obtenidos con la herramienta diseñada. Se determina el porcentaje de error absoluto en los tiempos obtenidos con la herramienta respecto de los tiempos obtenidos con el método manual. Los resultados se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Comparación de resultados obtenidos. Fuente: Elaboración propia.

Problema	Porcentaje de error
1	0.45
2	1.82

Cuarta etapa: Prueba piloto de la herramienta computacional en plataformas computacionales distintas.

Se realizó la corrida del programa en plataformas computacionales distintas, específicamente en el sistema operativo Windows y en el sistema operativo Linux, funcionando con toda normalidad. Adicionalmente se realizó la corrida del programa en el sistema operativo Android a través de un emulador de la distribución Debian del sistema operativo Linux, sin mostrar fallas en su funcionamiento.

Quinta etapa: Realización de una prueba de usabilidad de la herramienta desarrollada.

Se realizó una prueba de aceptación de usuario con los estudiantes cursantes de la asignatura Manejo de Fluidos, asignatura perteneciente al noveno semestre del pensum de estudios de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Carabobo, en virtud que el análisis de redes de flujo que incluyan tanques reales se contempla en el contenido de la asignatura. La prueba se realizó durante el periodo académico 2-2018, específicamente en el mes de julio de 2019, a través de un formato de prueba de aceptación del usuario resultante de la adaptación del formato

empleado por Canache (2016) para dicha prueba. La prueba se aplicó a dieciséis (16) estudiantes, y los resultados se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Prueba de aceptación del usuario. Resultados obtenidos. Fuente: Elaboración propia.

Ítem	% Aprobación
Selección del sistema de unidades	100
Selección de intervalos (Número de veces que se divide el volumen)	100
Área de dibujo	93.75
Configuración de tuberías	100
Configuración de conexiones	100
Configuración de tanques reales	100
Configuración de tanques ideales.	93.75
Configuración de válvulas	93.75
Configuración de accesorios	93.75
Configuración de bombas	75
Configuración de puntos de entrada o salida de flujo.	93.75
Capacidad de graficación.	100
Capacidad de cálculo de altura en un instante de tiempo o viceversa.	87.5

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Modelado matemático

El modelado matemático abarca las tres posibles situaciones reportadas en la bibliografía sobre el tema de redes de flujo con tanques reales. Las geometrías seleccionadas incluyen aquellas que son reportadas como de uso frecuente en tanques reales y que van más allá de las geometrías tradicionales que muestra la bibliografía sobre el tema de redes de flujo con tanques reales, las cuales son los tanques de sección transversal constante de eje vertical y los tanques esféricos.

Elaboración de la herramienta

La herramienta computacional elaborada se programó a través del paradigma de programación orientada a objetos usando el lenguaje de programación Java, con

posibilidad de diseño de la red de flujo incluyendo los elementos básicos contemplados en la bibliografía. La herramienta marca una diferencia en relación a otras ya existentes como Pipe Flow, Watercad, Epanet y FluidNet 2.0 en relación a la inclusión de tanques reales en la red y la simulación respectiva del proceso de flujo en dicha red.

Comparación de los resultados obtenidos a través de la herramienta computacional desarrollada con los obtenidos usando métodos manuales.

La comparativa entre los resultados que se obtienen empleando el método gráfico y los obtenidos con el uso de la herramienta en las pruebas realizadas están por debajo del 2%, lo que pudiese constituirse es un indicativo de la confiabilidad en los resultados numéricos otorgados por la herramienta desarrollada.

Prueba piloto de la herramienta computacional en plataformas computacionales distintas.

La herramienta computacional elaborada funciona en al menos dos sistemas operativos distintos, lo que marca una diferencia en relación a otras ya existentes como Pipe Flow, Watercad, Epanet y FluidNet 2.0, que funcionan solo en el sistema operativo Windows. Adicionalmente la herramienta computacional elaborada funciona en dispositivos móviles bajo el sistema operativo Android que cuenten con un

emulador de una distribución del sistema operativo Linux.

Realización de una prueba de usabilidad de la herramienta desarrollada.

La prueba de aceptación de usuario realizada muestra porcentajes de aceptación iguales o mayores al 75% en los ítems referidos en el instrumento aplicado para dicha prueba. Estas cifras pudiesen tomarse como un indicativo de la alta aceptación de la herramienta desarrollada por parte del usuario.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se elaboró una herramienta computacional que contribuye a llenar el vacío existente en relación a herramientas para la simulación de redes de flujo que contengan tanques reales. La herramienta funciona en varias plataformas con lo que se supera la limitante existente en relación a herramientas similares que funcionan en el sistema operativo Windows y que inclusive funciona en dispositivos móviles que

tengan emuladores del sistema operativo Linux. Los resultados que ofrece la herramienta difieren en pequeña magnitud en relación a los resultados ofrecidos empleando el método gráfico. Presenta un alto nivel de aceptación por parte del usuario de acuerdo a las pruebas realizadas. Acorde a lo expuesto, esta herramienta constituye un recurso de utilidad para usuarios que requieran la simulación de redes de flujo que contemplan tanques reales.

REFERENCIAS

Canache, J. (2016). *RIA (Rich Internet Application) a partir de BPMN (Business Process Modeling Notation)* (trabajo de grado de maestría en Matemática y Computación). Valencia: Universidad de Carabobo.

Cengel, Y. & Boles, M. (2012). *Termodinámica*. Mexico: McGraw Hill.

Cengel, Y. & Cimbala, J. (2006). *Mecánica de Fluidos*. Mexico: McGraw Hill.

Davies, C.H.J. (2002) *Student engagement with simulations: a case study*. Computers & Education, Vol. 39, Pergamon (ed) Elsevier, pp 271-282.

Division de Ingeniería de Crane (1989): *Flujo de fluidos en valvulas, accesorios y tuberias*. Mexico: McGraw Hill.

Documentos de CONFEDI (2014): Competencias en Ingeniería. Recuperado de <https://confedi.org.ar/download/documentos>

[confedi/Cuadernillo-de-Competencias-delCONFEDI.pdf](#)

Flores, E. (2007). *Material instruccional computarizado como apoyo didáctico para el estudio de las aplicaciones físicas de las ecuaciones diferenciales ordinarias de primer orden y primer grado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo* (Trabajo de Grado de Maestría en Matemática y Computación). Valencia: Universidad de Carabobo.

Flores, E., Velásquez, J., Martino, L., Cruz, M., & Gomez, M. (2016). *Compromiso Del Estudiante Desde Una Dimension Cognitiva En El Uso De Herramientas Computacionales De Simulacion De Redes De Flujo: Un Caso De Estudio*. Jornadas de Investigacion y Encuentro Academico Industrial de la Facultad de Ingenieria de la Universidad Central de Venezuela, 14-18 de Noviembre de 2016.

Flores, E., Luque, A. & Gomez, M. (2018). *Compromiso Del Estudiante Desde Una*

Dimension Cognitiva En El Uso De Herramientas Computacionales De Simulacion De Procesos De Flujo Compresible: Un Caso De Estudio. *Ingenieria y Sociedad UC*, 13(2), 110-120.

Fox, R. & Mc Donald, A. (1995). *Introduccion a la Mecanica de Fluidos*. Mexico: McGraw Hill.

Goncalves, G. & Pacheco, A. (2019). *Desarrollo De Una Herramienta Didáctica Computacional Para El Estudio De Fenómenos Asociados Al Manejo De Flujos De Fluidos* (Trabajo Especial de Grado para optar al titulo de Ingeniero Mecanico). Valencia: Universidad de Carabobo.

Laya, A. (1995) *Manejo de Fluidos*. Universidad de Carabobo.

Pipe Flow (2018). Recuperado de <https://www.pipeflow.com/>

Valiente, A. (2002). *Problemas de Flujo de Fluidos*. Mexico: Limusa Noriega Editores.

Autores

Ángel Rivas. Ingeniero Mecánico. Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6653-7527>

Email: julfran95@hotmail.com

José Díaz. Ingeniero Mecánico. Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3611-1437>

Email: josescalona05@gmail.com

Enrique Flores. Ingeniero Mecánico, Magister en Matemática y Computación. Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7605-3286>

Email: evflores@uc.edu.ve

Lisette Hornebo. Ingeniero Mecánico. Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1434-8388>

Email: lisette.hornebo@gmail.com

Recibido: 30-07-2019

Aceptado: 30-11-2019