

Modelado y simulación numérica del vaciado de tanques de distintas geometrías en LabVIEW

¹Juan José Venegas Moreno, ²Ulises Bañuelos Amezcua, ³José de Jesús Hernández Martínez, ⁴Moisés Rodríguez Morales, ⁵Luis Gabriel González Vázquez
Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y
Henríquez - campus Tamazula, departamento de Electromecánica^{1,2,3,4}
Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de ciudad Guzmán, departamento de
Ingeniería Industrial⁵

Resumen – Se desarrolló un modelo matemático para representar el vaciado de tanques con geometrías cilíndrica, cónica y rectangular. Las soluciones analíticas exactas fueron obtenidas utilizando el método de ecuaciones diferenciales por separación de variables, permitiendo calcular la dinámica de la altura instantánea durante la descarga. Posteriormente, se implementó una interfaz gráfica en LabVIEW que facilita al usuario ingresar parámetros específicos del tanque, simular y visualizar en tiempo real el comportamiento del nivel de líquido. La herramienta propuesta destaca por su flexibilidad y eficiencia para analizar el vaciado de tanques de geometría variable, y su interfaz gráfica contribuye a la comprensión de fenómenos complejos en escenarios prácticos.

Índice de Términos – Modelado dinámico, geometría variable, LabView, simulación numérica.

Abstract – A mathematical model was developed to represent the emptying of tanks with cylindrical, conical, and rectangular geometries. Exact analytical solutions were obtained using the method of differential equations by separation of variables, enabling the calculation of the instantaneous height dynamics during discharge. Subsequently, a graphical interface was implemented in LabVIEW, allowing users to input specific tank parameters, simulate, and visualize the liquid level behavior in real-time. The proposed tool stands out for its flexibility and efficiency in analyzing the emptying of variable geometry tanks, and its graphical interface aids in the understanding of complex phenomena in practical scenarios.

Keywords - Dynamic modeling, variable geometry, LabView, numerical simulation.

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo experimental aplicado a sistemas dinámicos representa un desafío académico significativo, ya que combina conocimientos teóricos y destrezas matemáticas. Este estudio se enfoca en el modelado y simulación del vaciado de tanques de geometría variable como herramienta para el aprendizaje en ingeniería y ciencias.

Este trabajo de investigación establece las bases para el análisis teórico y numérico del modelado, diseño y desarrollo de tanques con geometrías cilíndrica, cónica y rectangular, orientados a la interacción experimental dinámica. Esta propuesta se presenta como una herramienta innovadora para el aprendizaje en las áreas de ingeniería y ciencias.

El estudio de los teoremas de Torricelli y Bernoulli establece una conexión fundamental que facilita el análisis del vaciado de tanques y recipientes, entre otros aspectos de gran interés. Al aplicar la ecuación de Bernoulli, se puede establecer una relación entre la energía cinética y potencial, lo que permite determinar la velocidad de salida del líquido desde un recipiente dado.

El teorema de Torricelli, conocido también como principio de

¹ Juan José Venegas Moreno, Docente del departamento de Electromecánica. Tecnológico Nacional de México / ITJMMPyH Unidad Académica Tamazula. jose.venegas@tamazula.tecmm.edu.mx

²Ulises Bañuelos Amezcua, Docente del departamento de Electromecánica. Tecnológico Nacional de México / ITJMMPyH Unidad Académica Tamazula. ulises.banuelos@tamazula.tecmm.edu.mx

³ José de Jesús Hernández Martínez, Docente del departamento de Electromecánica. Tecnológico Nacional de México / ITJMMPyH Unidad Académica Tamazula. jose.hernandez@tamazula.tecmm.edu.mx

⁴Moisés Rodríguez Morales, Docente del departamento de Electromecánica. Tecnológico Nacional de México / ITJMMPyH Unidad Académica Tamazula. moises.rodriguez@tamazula.tecmm.edu.mx

⁵Luis Gabriel González Vázquez, Docente del departamento de Ingeniería Industrial. Tecnológico Nacional de México / IT de Ciudad Guzmán. luis.gv@cdguzman.tecnm.mx (Autor correspondiente)

Toricelli, es una aplicación específica del principio de Bernoulli al flujo de un líquido a través de un orificio. Para que este teorema sea válido, el fluido debe ser incompresible, de viscosidad despreciable y estar sometido únicamente a la acción de la fuerza gravitatoria. La ley de conservación de la energía mecánica sirve como base del teorema de Torricelli, lo que a su vez respalda el principio de Bernoulli.

El presente documento tiene como objetivo establecer un fundamento teórico y numérico para la investigación y experimentación en sistemas hidrodinámicos enfocados en la descarga de tanques. Este enfoque está orientado a apoyar la formación de estudiantes en las áreas de ingeniería y ciencias mediante el análisis de diversos parámetros que influyen en la descarga de tanques. Entre los parámetros estudiados destacan el tiempo de descarga y la variación de la altura del líquido en diferentes configuraciones geométricas, aspectos de gran relevancia en procesos industriales.

La educación tradicional puede enriquecerse considerablemente a través de estrategias didácticas basadas en el análisis de sistemas dinámicos virtuales. Este enfoque promueve aprendizajes significativos que, a su vez, fortalecen las habilidades y competencias de los estudiantes en experimentación, cuantificación de efectos y argumentación sustentada en resultados reales.

El análisis del sistema estudiado revela una amplia gama de aprendizajes aplicados, que incluyen la comprensión de leyes físicas, teoremas, análisis algebraicos y la resolución de ecuaciones diferenciales. La enseñanza de la ingeniería aplicada requiere el dominio de conceptos físicos y matemáticos complejos que, en ocasiones, son difíciles de visualizar y entender solo desde una perspectiva teórica. En este contexto, las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) representan una herramienta valiosa para desarrollar estrategias de aprendizaje innovadoras que integren la teoría con la práctica.

Estado del arte:

Gálvez analiza la relación entre la altura del nivel de un tanque cilíndrico y el tiempo necesario para su vaciado, utilizando tres modelos respaldados por el método de Mínimos Cuadrados y ecuaciones diferenciales ordinarias [1].

Serrano aborda la resolución de ecuaciones diferenciales ordinarias de primer orden para modelar el vaciado de tanques con diferentes geometrías, empleando el software GeoGebra [2]. Este trabajo muestra el impacto de los parámetros de diseño de recipientes (semiesférico, cilíndrico, horizontal, cúbico, cónico y tetraédrico) en las variables de salida, destacando la utilidad de herramientas digitales para comprender y optimizar estos sistemas.

II. DESARROLLO

Mediante el análisis de los tiempos de descarga de tanques bajo condiciones iniciales específicas, se logró establecer una metodología que permite definir los parámetros clave de interés en esta investigación. La representación esquemática de este enfoque se detalla en el diagrama de bloques mostrado en la Figura 1.

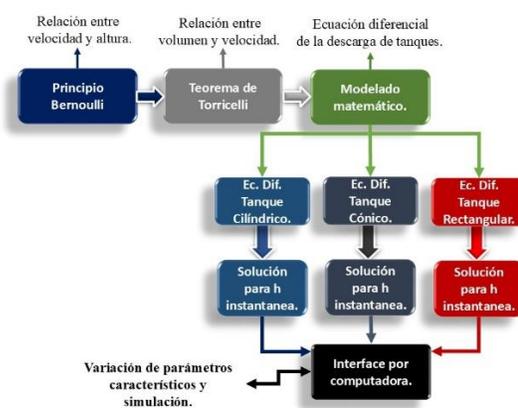


Fig. 1. Diagrama de flujo para el método aplicado en el análisis para deducir la altura instantánea en la descarga de tanques.

A continuación, se presenta una secuencia del análisis metodológico en función de la geometría para los tanques cúbico, cilíndrico y cónico.

III. METODOLOGÍA

Basándonos en el análisis de sistemas hidrodinámicos, se llevaron a cabo las diferentes etapas de análisis.

3.1 MODELADO MATEMÁTICO.

El modelo del sistema se establece mediante el análisis de la descarga de tanques (o recipientes) que están expuestos a la atmósfera, considerando que la presión que actúa en el proceso es la presión atmosférica como se presenta en la figura 2. El fluido utilizado es de tipo newtoniano, lo que implica que su

viscosidad puede considerarse constante a lo largo del tiempo. Fluidos como el agua, la gasolina, el aire, el vino y ciertos aceites minerales, bajo condiciones normales de presión y temperatura, son clasificados como newtonianos [1].

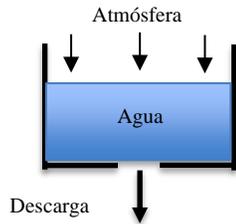


Figura. 2. Modelo del sistema.

Una de las leyes fundamentales de la física es la ley de conservación de la masa, que establece de manera simple que la masa no puede ser creada ni destruida, solo transformada. En consecuencia, la masa total de todos los materiales que ingresan a un proceso debe ser igual a la masa total de los materiales que salen, más la masa de los materiales que se acumulan o permanecen dentro del proceso [1].

El vaciado de tanques y recipientes constituye un proceso de régimen no estacionario, ya que la salida de masa del sistema ocurre a una velocidad variable, que depende del nivel de líquido dentro del tanque. Dado que no hay ingreso de masa al tanque, esta descarga provocará un cambio en el contenido inicial. Por lo tanto, es posible plantear el balance general de masa y energía del sistema de la siguiente manera:

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh \quad (1)$$

A partir de esta igualdad, podemos derivar la velocidad del flujo de agua a través de un agujero de descarga de la siguiente manera:

$$v = \sqrt{2gh} \quad (2)$$

Para condiciones reales, es necesario considerar la contracción que experimenta el fluido debido al tamaño reducido del orificio. Generalmente, esta contracción se representa con la letra k , cuyo valor varía entre 0 y 1. Con este factor, se aplica el Principio de Bernoulli, el cual establece que:

$$v = k\sqrt{2gh} \quad (3)$$

A través del principio de Torricelli, se establece que la variación del volumen de un líquido en un tanque con respecto al tiempo se expresa como el producto del área del orificio de salida y la velocidad del líquido, lo que da lugar a la siguiente ecuación:

$$\frac{dV}{dt} = -A_0v \quad (4)$$

Dado que ya conocemos la velocidad de salida del líquido, podemos considerar lo siguiente:

$$\frac{dV}{dt} = -A_0k\sqrt{2gh} \quad (5)$$

Aplicando el método de volumen por secciones transversales, obtenemos lo siguiente:

$$V = \int_0^h A(h)dh \quad (6)$$

Derivando respecto al tiempo t y aplicando el teorema fundamental del cálculo, obtenemos el volumen del líquido desalojado de un tanque con respecto al tiempo, de la siguiente manera:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{A(h)dh}{dt} \quad (7)$$

Al comparar las ecuaciones 5 y 7, se obtiene lo siguiente:

$$\frac{A(h)dh}{dt} = -A_0k\sqrt{2gh} \quad (8)$$

Esta es una ecuación diferencial de variables separables, la cual, al resolverla y sujetarla a la condición de conocer la altura inicial h_i para el tiempo $t = 0$, permite determinar la altura instantánea del líquido en el tanque en función del tiempo.

$$\frac{dh}{dt} = -\frac{A_0}{A(h)}k\sqrt{2gh} \quad (9)$$

Donde:

$A(h)$ Área de la sección transversal horizontal del tanque a la altura $h(t)$.

dh Diferencial de altura.

A_0 Área de la sección transversal del orificio de escape
 $(\pi r_0^2 = \pi \frac{D_0^2}{4})$.

k Constante de concentración del líquido en el orificio de escape ($0 < k < 1$).

h Altura instantánea.

h_i Altura inicial.

t Tiempo transcurrido a la descarga instantánea, es decir, hasta h .

3.2 ANÁLISIS DE TANQUE CÚBICO.

Consideremos el recipiente cúbico de la figura 3. con dimensiones B largo, c ancho, A_t área de la sección transversal de la superficie del líquido, A_0 área del orificio de descarga y D_0 diámetro del orificio de descarga.

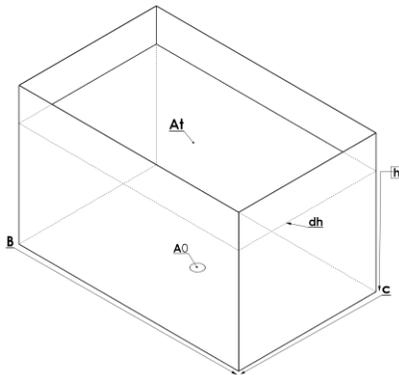


Figura 3. Tanque con forma cúbica y orificio en el fondo.

Definiendo la ecuación (9) para este tipo de recipiente el cálculo del área depende de B y de c , por ello,

$$A(h) = Bc \tag{10}$$

De esta forma, separando las variables de la ecuación (9) en función del tiempo t , se obtiene

$$-\frac{A(h)dh}{A_0k\sqrt{2gh}} = dt \tag{11}$$

Sustituyendo (10) en (11) la ecuación diferencial resultante nos da

$$-\frac{Bc dh}{A_0k\sqrt{2gh}} = dt \tag{12}$$

Separando los términos constantes y las variables para integrar a ambos la dos de la ecuación, obtenemos

$$-\frac{Bc}{A_0k\sqrt{2g}} \int h^{-1/2} dh = \int dt \tag{13}$$

Integrando ambos lados encontramos que,

$$-\frac{2Bc}{A_0k\sqrt{2g}}\sqrt{h} + C = t \tag{14}$$

Para saber cuánto vale la constante de integración C , consideramos $t = 0$ y $h = h_i$,

$$-\frac{2Bc}{A_0k\sqrt{2g}}\sqrt{h_i} + C = 0 \tag{15}$$

Despejando en función de C , tenemos

$$C = \frac{2Bc}{A_0k\sqrt{2g}}\sqrt{h_i} \tag{16}$$

Sustituyendo el valor de C en (14), se obtiene la respuesta completa

$$-\frac{2Bc}{A_0k\sqrt{2g}}\sqrt{h} + \frac{2Bc}{A_0k\sqrt{2g}}\sqrt{h_i} = t \tag{17}$$

Reescribiendo para simplificar, podemos calcular el valor de t ,

$$t = \frac{2Bc}{A_0k\sqrt{2g}}[\sqrt{h_i} - \sqrt{h}] \tag{18}$$

De (18) como solución de la ecuación diferencial se obtiene la altura instantánea h dada en (19), la cual utilizamos para programar la respuesta completa ante la descarga continua.

$$h = \left[\sqrt{h_i} - \frac{A_0k\sqrt{2g}}{2Bc}t \right]^2 \tag{19}$$

3.3 ANÁLISIS DE TANQUE CILÍNDRICO VERTICAL CON FONDO PLANO.

Consideremos el recipiente cilíndrico de la figura 4. con dimensiones $H = h_i$ altura inicial, D_T diámetro del tanque, h altura instantánea y D_0 diámetro del orificio de descarga.

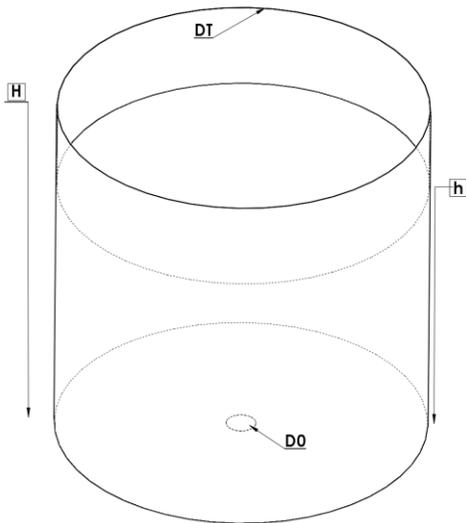


Figura. 4. Tanque con forma cilíndrica con orificio en fondo plano.

En este tipo de recipiente, para determinar el área de la sección transversal horizontal del tanque a la altura $h(t)$, se emplea la expresión,

$$A(h) = \pi \frac{D_T^2}{4} \quad (20)$$

Se observa que, con la variación en el cálculo del área de la sección transversal, la ecuación (9), para la descarga de tanques se define como

$$-\frac{dh\pi\frac{D_T^2}{4}}{A_0k\sqrt{2gh}} = dt \quad (21)$$

Al considerar también que el área de la sección transversal del orificio de escape equivale a

$$A_0 = \pi \frac{D_0^2}{4} \quad (22)$$

Con esto, la ecuación (21) se reescribe en

$$-\frac{dh\pi\frac{D_T^2}{4}}{\pi\frac{D_0^2}{4}k\sqrt{2gh}} = dt \quad (23)$$

Al simplificar términos comunes, llegamos a

$$-\frac{dhD_T^2}{D_0^2k\sqrt{2gh}} = dt \quad (24)$$

Al despejar los términos constantes y las variables a ambos lados de la ecuación, se obtiene,

$$-\frac{D_T^2}{D_0^2k\sqrt{2g}}h^{-\frac{1}{2}}dh = dt \quad (25)$$

Al integrar, a ambos lados de la igualdad,

$$-\frac{D_T^2}{D_0^2k\sqrt{2g}}\int h^{-1/2}dh = \int dt \quad (26)$$

Después de evaluar la integral obtenemos,

$$-\frac{2D_T^2}{D_0^2k\sqrt{2g}}\sqrt{h} + C = t \quad (27)$$

Para saber cuánto vale la constante de integración C , consideramos $t = 0$ y $h = h_i$,

$$-\frac{2D_T^2}{D_0^2k\sqrt{2g}}\sqrt{h_i} + C = 0 \quad (28)$$

La constante de integración tiene el siguiente valor

$$C = \frac{2D_T^2}{D_0^2k\sqrt{2g}}\sqrt{h_i} \quad (29)$$

Haciendo algunas consideraciones, podemos reescribir esta expresión como

$$C = \frac{D_T^2}{D_0^2k}\sqrt{\frac{2h_i}{g}} \quad (30)$$

Sustituyendo el valor de C en (27) se reescribe la solución completa como

$$-\frac{2D_T^2}{D_0^2k\sqrt{2g}}\sqrt{h} + \frac{D_T^2}{D_0^2k}\sqrt{\frac{2h_i}{g}} = t \quad (31)$$

Reescribiendo la parte negativa de esta expresión, se obtiene,

$$t = \sqrt{\frac{2}{g}}\frac{D_T^2}{D_0^2k}[\sqrt{h_i} - \sqrt{h}] \quad (32)$$

De (32) como solución de la ecuación diferencial se obtiene la altura instantánea h como se muestra en (33) para programar la respuesta completa ante la descarga continua.

$$h = \left[\sqrt{h_i} - \sqrt{\frac{g}{2}}\frac{D_0^2k}{D_T^2}t \right]^2 \quad (33)$$

3.4 ANÁLISIS DE TANQUE CILÍNDRICO CÓNICO.

Considere el recipiente cilíndrico de la Figura 5. con dimensiones $H = h_i$ altura inicial, R diámetro del tanque, h

altura instantánea, r el radio de la sección transversal de la altura instantánea h y D_0 diámetro del orificio de descarga.

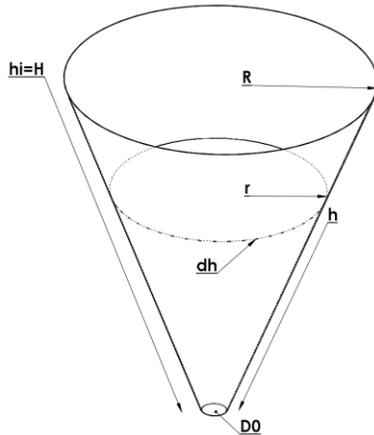


Fig. 5. Tanque con forma cilíndrica cónica con orificio en el fondo.

En este caso, para el análisis empleamos una semejanza de triángulos, así tendríamos,

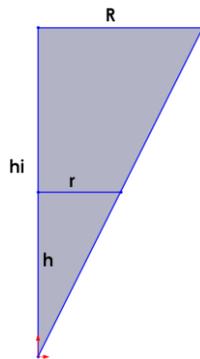


Fig. 6. Sección transversal del tanque con forma cilíndrica cónica.

De lo cual se obtiene que las relaciones por semejanza son,

$$\frac{R}{h_i} = \frac{r}{h} \quad (34)$$

Entonces r se define como,

$$r = \frac{Rh}{h_i} \quad (35)$$

Y dado que el área de un círculo está dada por

$$A(h) = \pi r^2 \quad (36)$$

Sustituyendo (35) en la relación (36) se obtiene

$$A(h) = \pi \left(\frac{Rh}{h_i} \right)^2 \quad (37)$$

El valor del área de descarga A_0 se determina como

$$A_0 = \pi \frac{D_0^2}{4} \quad (38)$$

Al sustituir (37) y (38) en (9), se puede reescribir

$$-\frac{\pi \left(\frac{Rh}{h_i} \right)^2 dh}{\left(\pi \frac{D_0^2}{4} \right) k \sqrt{2gh}} = dt \quad (39)$$

Agrupando términos, se obtiene

$$-\frac{4 R^2 h^2}{D_0^2 h_i^2 k \sqrt{2g}} h^{-1/2} dh = dt \quad (40)$$

Al integrar a ambos lados de la igualdad

$$-\frac{4 R^2}{D_0^2 h_i^2 k \sqrt{2g}} \int h^{3/2} dh = \int dt \quad (41)$$

Resolviendo la integración

$$\left(-\frac{4 R^2}{D_0^2 h_i^2 k \sqrt{2g}} \right) \frac{h^{5/2}}{5/2} + C = t \quad (42)$$

Reescribiendo

$$-\frac{8 R^2}{5 D_0^2 h_i^2 k \sqrt{2g}} h^{5/2} + C = t \quad (43)$$

Reduciendo términos

$$-0.36122 \frac{R^2}{D_0^2 h_i^2 k} h^{5/2} + C = t \quad (44)$$

Para saber cuánto vale la constante de integración C , consideramos $t = 0$ y $h = h_i$,

$$-0.36122 \frac{R^2}{D_0^2 h_i^2 k} h_i^{5/2} + C = 0 \quad (45)$$

El valor de la constante de integración C , se deduce como,

$$C = 0.36122 \frac{R^2 \sqrt{h_i}}{D_0^2 k} \quad (46)$$

Sustituyendo el valor de C en (44)

$$-0.36122 \frac{R^2}{D_0^2 h_i^2 k} h^{5/2} + 0.36122 \frac{R^2 \sqrt{h_i}}{D_0^2 k} = t \quad (47)$$

Simplificando se tiene la solución

$$t = 0.36122 \frac{R^2}{D_0^2 k} \left[\sqrt{h_i} - \frac{\sqrt{h^5}}{h_i^2} \right] \quad (48)$$

De (48) como solución de la ecuación diferencial se obtiene la altura instantánea h como se muestra en (49) para programar la respuesta completa ante la descarga continua.

$$h = \left[h_i^2 \left[\sqrt{h_i} - \frac{D_0^2}{0.36122 R^2} t \right] \right]^{\frac{2}{5}} \quad (49)$$

3.5 INTERFAZ EN LABVIEW

A partir del proceso sistemático descrito previamente, que permite obtener soluciones sobre la respuesta dinámica de la altura instantánea de los tanques a lo largo del tiempo, se desarrolló una interfaz gráfica de usuario en LabVIEW que integra las soluciones obtenidas. Esta interfaz facilita la entrada de los parámetros geométricos del tanque y las condiciones iniciales del sistema. Gracias a su diseño interactivo, la herramienta permite visualizar y analizar en tiempo real la evolución temporal del nivel del líquido en el tanque, lo que contribuye a una comprensión más clara del fenómeno físico.

En la Figura 7, 8 y 9 se presenta la interfaz desarrollada en LabVIEW, de izquierda a derecha se encuentra, primeramente, una sección para proporcionar los datos de entrada, así como resultados dinámicos, y de forma ilustrativa la descarga del tanque, y finalmente de modo grafico se muestra la respuesta completa en tiempo real de la altura instantánea.



Figura 7. Interface de tanque con forma cilíndrica y escape circular en el fondo.

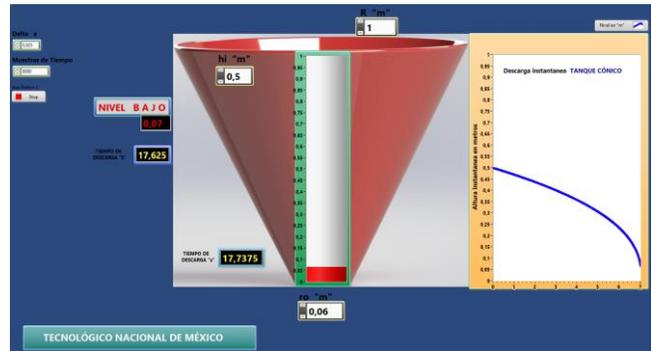


Figura 8. Interface de tanque con forma cilíndrica cónica y escape circular en el fondo.

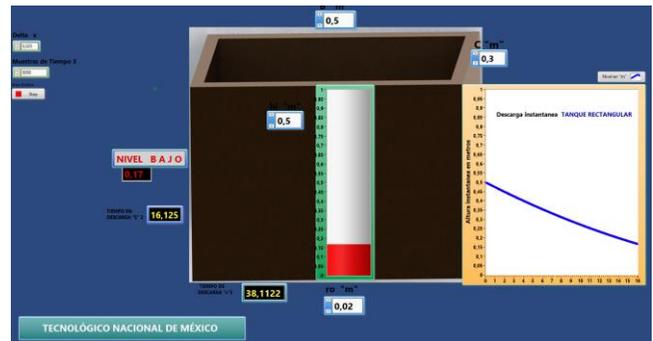


Figura 9. Interface de tanque con forma cúbica y escape circular en el fondo.

El modelo propuesto tiene aplicaciones en el análisis, diseño y optimización de sistemas de almacenamiento y transporte de líquidos, siendo útil en diversos sectores industriales como la industria química, alimentaria y petroquímica. Este enfoque también puede contribuir a la mejora de la eficiencia operativa, reduciendo costos y tiempos de proceso.

No obstante, a pesar de su amplia aplicabilidad y flexibilidad, el modelo presenta algunas limitaciones que deben ser consideradas. Entre ellas, se incluye la suposición de que el flujo es laminar, lo cual puede no ser adecuado en situaciones donde el flujo es turbulento. Además, el modelo omite las pérdidas por fricción, lo que podría afectar su precisión en ciertos contextos donde tales pérdidas son significativas. Estas simplificaciones deben tenerse en cuenta cuando se aplique el modelo en escenarios más complejos o en condiciones operativas extremas.

IV. CONCLUSIÓN

Este trabajo proporciona una herramienta computacional eficiente y flexible para el análisis del vaciado de tanques, contribuyendo al diseño y optimización de sistemas hidráulicos en diversas aplicaciones. La interfaz gráfica desarrollada en

LabVIEW permite simular y visualizar de manera interactiva la evolución temporal del nivel de líquido en tanques con geometrías variables, lo que facilita la comprensión de los procesos físicos y mejora la toma de decisiones en entornos industriales.

Con base en los resultados obtenidos en las diversas pruebas experimentales, este trabajo de investigación fundamenta la aplicación práctica de conocimientos matemáticos y tecnológicos en el ámbito de las ciencias exactas. La integración de teoría y experimentación refuerza la confiabilidad del modelo, proporcionando una base sólida para su implementación en la optimización de procesos industriales relacionados con el almacenamiento y transporte de líquidos.

REFERENCIAS

- [1] Luis Fernando Plaza Gálvez, "Modelado Matemático para Vaciado de Tanques," *Scientia et Technica*, p. 6, 2017.
- [2] Ma. del Carmen Cornejo Serrano, "El uso de geogebra en la solución de ecuaciones diferenciales de primer orden, aplicaciones en el vaciado de tanques.," *Pistas Educativas.*, p. 24, 2013.
- [3] Edgardo Mendoza Cconovilca. (2017) Obtención del modelo matemático del tiempo de descarga de un tanque cilíndrico vertical que contiene agua. Documento.
- [4] Martín Ortiz-Domínguez and Arturo Cruz-Avilés, "Tiempo de vaciado de un depósito cilíndrico vertical," *Ingenio y Conciencia Boletín Científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún*, vol. 9, no. 18, pp. 66-73, 2022.
- [5] Universidad de la Guajira. (2012) Aplicaciones de las ecuaciones diferenciales a problemas vaciado de tanques. [Online]. <https://www.studocu.com/pe/u/27976645?sid=01734769195>

BIOGRAFÍA AUTORES

Venegas Moreno, Juan José

Docente del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez – Unidad Académica Tamazula, Jalisco, C.P. 49650. Email: jose.venegas@tamazula.tecmm.edu.mx.

Maestría en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica, egresado del Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN – Unidad Guadalajara.

Bañuelos Amezcuca, Ulises

Docente del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez – Unidad Académica Tamazula, Jalisco, C.P. 49650. Email: ulises.banuelos@tamazula.tecmm.edu.mx.

Maestría en Ingeniería Electrónica, egresado del Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán.

Hernández Martínez, José de Jesús

Docente del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez – Unidad Académica Tamazula, Jalisco, C.P. 49650. Email: jose.hernandez@tamazula.tecmm.edu.mx.

Maestría en Ingeniería Electrónica, egresado del Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán.

Rodríguez Morales, Moisés

Docente del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez – Unidad Académica Tamazula, Jalisco, C.P. 49650. Email: moises.rodriguez@tamazula.tecmm.edu.mx.

Maestría en Ingeniería Electrónica, egresado del Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán.

González Vázquez Luis Gabriel,

Docente del departamento de Ingeniería Industrial. Tecnológico Nacional de México / IT de Ciudad Guzmán. luis.gv@cdguzman.tecnm.mx