

# APLICACIÓN DIDÁCTICA DEL BIG DATA PARA LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE SISTEMAS HIDRÁULICOS EN INGENIERÍA

J. P. Razón González<sup>1</sup>  
D. I. Gallardo Álvarez<sup>2</sup>  
J. M. García Guzmán<sup>3</sup>  
J. A. Magdaleno Zavala<sup>4</sup>

## RESUMEN

Las necesidades de la industria actual son un reto que se debe afrontar de forma cotidiana en las aulas de las escuelas de ingeniería. Actualizar contenidos temáticos, desarrollar competencias pertinentes en clases, enfocar las prácticas de laboratorio a la resolución de problemas, usar tecnologías de vanguardia, y manejar eficazmente grandes volúmenes de información permiten avalar el desarrollo de las competencias que el sector productivo requiere de los nuevos ingenieros; estos aspectos deben ser los ejes rectores de las tendencias educativas que garanticen que el desarrollo de la vida profesional de los egresados sea exitosa. En este trabajo se presenta la aplicación del Programa de Análisis de Sistemas de Tuberías (PAST), desarrollado como una interfaz gráfica en el lenguaje de programación de MATLAB®, esto para la resolución de problemas en clase y demostración de casos de estudio. PAST determina el tamaño de la tubería comercial, basado en la diferencia de presión, elevación, temperatura del agua y flujo volumétrico como parámetros críticos de diseño. El algoritmo de solución emplea técnicas de Big Data para la manipulación precisa de grandes volúmenes de información, obteniendo resultados con exactitud en tiempos reducidos sin comprometer la confiabilidad de los sistemas de tuberías; optimizando el proceso de diseño comparado con los métodos analíticos tradicionales.

## ANTECEDENTES

Actualmente, existe un gran universo de alternativas comerciales que ofrecen soluciones a las necesidades de los sectores productivos a un costo relativamente elevado. Estos softwares permiten una caracterización muy aproximada a las condiciones reales del comportamiento de los fluidos de acuerdo a los parámetros de diseño definidos; también presentan las pérdidas energéticas y las caídas de presión en función de la cantidad de válvulas, accesorios y longitud de la tubería para determinar de esta manera el tamaño comercial óptimo para cada aplicación. En los últimos 70 años, los programas más comunes para el cálculo de tubería son el WaterCAD y el WaterGEMS (Bentley, 2018), además del Epanet (EPA, 2017).

Estos programas son los que tienen la mayor difusión y el reconocimiento dentro del sector industrial, pero su elevado costo los hace inaccesibles para el sector educativo. Los softwares mencionados presentan diferentes limitaciones: algunos no consideran los efectos de las pérdidas energéticas por accesorios de la tubería y las válvulas; otros no involucran la fricción de materiales al considerar las tuberías de un material hidráulicamente liso, alejándose de la caracterización apegada a la realidad del sistema que se pretende diseñar. A partir de estas limitaciones que presentan los softwares comerciales mencionados, se desarrolló una aplicación computacional ejecutable basada en el lenguaje de programación de Matlab® (Cervantes & Báez, 2012).

<sup>1</sup> Profesor de Tiempo completo, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato. jurazon@itesi.edu.mx

<sup>2</sup> Profesor de Tiempo completo, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato. degallardo@itesi.edu.mx

<sup>3</sup> Profesor de Tiempo completo, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato. migarcia@itesi.edu.mx

<sup>4</sup> Profesor de Tiempo completo, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato. anmagdaleno@itesi.edu.mx

Esta aplicación se emplea como apoyo didáctico en las asignaturas de Mecánica de Fluidos, Sistemas y Máquinas de Fluidos, y Sistemas Hidráulicos y Neumáticos de la carrera de Ingeniería Electromecánica en el Instituto Tecnológico Superior de Irapuato (ITESI). La aplicación desarrollada se presenta como una interfaz gráfica para determinar el tamaño de la tubería en función de los requerimientos de diseño y, considerando los efectos del factor de rugosidad de cada material de acuerdo con las ecuaciones Darcy, Hagen-Poiseuille y Moody (Mataix, 2009), el nomograma de Hazen-Williams (Mott, 2006), también se incluyen las ecuaciones de Chézy, Manning y Darcy-Weisbach para la evaluación de pérdidas de carga (Jiménez-Medina, 2015).

La interfaz gráfica permite el cálculo de la tubería comercial adecuada para las características de operación del sistema propuesto. Permite, también la selección del sistema de unidades, los accesorios, el tipo de salida del tanque a la tubería, el caudal y la rugosidad de la tubería que está previamente definida para cada material; en los casos de materiales para tubería no listados en el catálogo se ingresa manualmente la rugosidad.

Este trabajo presenta, el diseño de una aplicación que emplea técnicas de Big Data para manejar grandes conjuntos de datos procedentes de nuevas fuentes, mismos que no pueden gestionarse con un software de procesamiento de datos convencional; sin embargo, estos datos masivos pueden utilizarse para abordar problemas ingenieriles que antes no hubiera sido posible solucionar (Oracle, 2013).

Para comprender el significado de “Big Data”, resulta útil conocer los antecedentes históricos, como la definición de Gartner: “datos que contienen una mayor variedad y que se conoce como volúmenes crecientes y a una velocidad superior” (citado en Sicular, 2013). Esto se conoce como “las tres V”: Volumen, Variedad y Velocidad; parámetros a los que se han agregado otras dos “V”: Valor y Veracidad (Sicular, 2013). El Volumen en Big Data hace referencia a la cantidad de datos no estructurados de baja densidad que se procesarán. La Variedad hace referencia a los diversos tipos de datos disponibles y la Velocidad es el ritmo al que se reciben y se les aplica alguna acción. Los dos criterios restantes, Valor y Veracidad, agregan un valor intrínseco, y resulta igualmente importante determinar la veracidad y confiabilidad de los datos (Oracle, 2013).

## **METODOLOGÍA**

El núcleo académico de la carrera de Ingeniería Electromecánica identificó la importancia de desarrollar aplicaciones computacionales para incluirlas como apoyo didáctico en las asignaturas Mecánica de Fluidos, Sistemas y Máquinas de Fluidos, así como en Sistemas Hidráulicos y Neumáticos de Potencia. Derivado de esta necesidad y en colaboración con la academia de Ingeniería en Sistemas Computacionales se desarrolló el Programa de Análisis para Sistemas de Tubería (PAST) como una interfaz gráfica ejecutable basada en el lenguaje de programación de Matlab®. Esta aplicación tiene la finalidad de que los estudiantes se familiaricen con los softwares comerciales de diseño hidráulico para cálculo y selección de tuberías.

### **Sistemas de unidades**

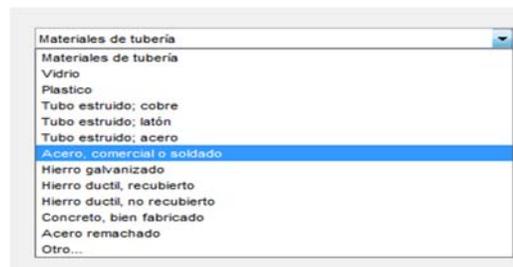
La aplicación requiere parámetros que deben ser ingresados para que el algoritmo de solución entregue resultados, estos datos de entrada son longitud de la tubería, diferencia de presión,

cambio en la elevación y temperatura. De acuerdo con el sistema de unidades que se elija, la aplicación le indica al usuario las unidades que debe ingresar para mantener la congruencia durante el proceso de cálculo, tal como se muestra en la Figura 1.

Sistema Inglés			Sistema Internacional		
Longitud:	<input type="text"/>	pies	Longitud:	<input type="text"/>	metros
Presión 1:	<input type="text"/>	psi	Presión 1:	<input type="text"/>	kpa
Presión 2:	<input type="text"/>	psi	Presión 2:	<input type="text"/>	kpa
Altura 1:	<input type="text"/>	pies	Altura 1:	<input type="text"/>	metros
Altura 2:	<input type="text"/>	pies	Altura 2:	<input type="text"/>	metros
Temperatura:	<input type="text"/>	°F	Temperatura:	<input type="text"/>	°C

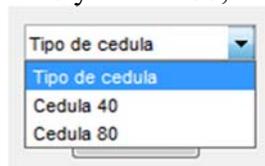
*Figura 1.* Sistema inglés y sistema internacional de unidades.  
Elaboración propia

Para la selección del material se cuenta con un extenso catálogo de tuberías comerciales entre los que se pueden elegir los más comunes en el mercado actual: vidrio (Vidrasa, 2017), plástico (Charter-plastics, 2018; PPI, 2018), cobre (CDA, 2018; Nacobre, 2016; CDA, 2018), hierro (DIPRA, 2015), acero (TubeNet, 2018), entre otros; esto se desplegará a través de un menú; tal como se presenta en la Figura 2.



*Figura 2.* Lista de materiales de tubería disponibles en la aplicación.  
Elaboración propia

Para el caso del acero comercial o soldado, al elegir esta opción se desplegará una ventana que ofrece entre dos opciones: cédula 40 y cédula 80, como se puede ver en la Figura 3.



*Figura 3.* Ventana emergente para seleccionar el tipo de cédula.  
Elaboración propia

### Caudal

En el campo del caudal, el usuario debe elegir entre el sistema inglés e internacional las unidades que la aplicación le ofrece; de esta manera, podrá trabajar con diferentes tipos de caudal y dejando al algoritmo de solución la tarea de hacer el análisis dimensional, y mantener la congruencia entre unidades como se muestra en la Figura 4.



Figura 4. Selección entre diferentes unidades para el caudal.  
Elaboración propia

### Botón de calcular

Una vez que se han ingresado los parámetros de diseño en los campos correspondientes, se presiona el botón de Calcular y el algoritmo realizará la búsqueda de todos los datos requeridos en las tablas disponibles para las propiedades del agua, los parámetros de tubería, las características de los accesorios y válvulas cuando sean seleccionados; esto a través de Big Data, para la manipulación de grandes volúmenes de información tal como lo menciona Gartner citado en Sicular (2013) con las tres “V” Volumen, Velocidad y Variedad de los datos empleados, sin dejar de lado el Valor y la Veracidad de los resultados, como se aprecia en la Figura 5.

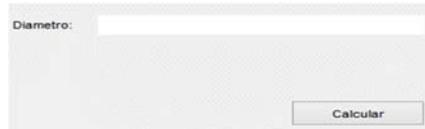


Figura 5. Botón Calcular.  
Elaboración propia

### Comparativa entre método analítico tradicional y solución con PAST (sin accesorios)

Para calcular el tamaño de la tubería nueva cédula 80 que se necesita para conducir agua a 160°F, con caída máxima de presión de 10psi (pounds-force per square inch o libra de fuerza por pulgada cuadrada en español) cada 1000 pies, cuando el flujo volumétrico es de 0.5 pies<sup>3</sup>/seg. Se procede a calcular la pérdida de energía limitante de la ecuación de Bernoulli (1), como la diferencia de elevación es igual a cero, debido a que no se especifica en el problema y se supone que el cambio o diferencia de velocidades es despreciable y se toma como cero observe la ecuación (2); sustituyendo se obtiene lo mostrado en la ecuación (3). De la tabla de propiedades del agua se toma el peso específico del agua a 160°F (Streeter, 1999)

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (1)$$

$$h_L = \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + Z_1 - Z_2 \quad (2)$$

$$h_L = \frac{10 \text{ lib/pulg}^2}{61.0 \text{ lib/pie}^3} \left[ \frac{12 \text{ pulg}}{1 \text{ pie}} \right]^2 \quad (3)$$

$$h_L = 23.60 \text{ pies}$$

Después se introduce el valor de  $h_L$  en la ecuación (4) para el diámetro

$$D = (0.66) \left[ \epsilon^{1.25} \left[ \frac{LQ^2}{gh_L} \right]^{4.75} + vQ^{9.4} \left[ \frac{L}{gh_L} \right]^{5.2} \right]^{0.04} \quad (4)$$

$$D = 0.3956 \text{ pies}$$

De acuerdo con el análisis presentado, la tubería que cubre los requerimientos de diseño debe ser de 0.3956 pies, el tamaño de tubería estándar que se aproxima de mejor manera es la de acero de 5 pulgadas cédula 80, con diámetro interior de  $D=0.4011$  pies; esto puede comprobarse en el extracto del catálogo comercial que se presenta en el apéndice F de tablas de Acero comercial o soldado para tuberías de acero cédula 80 (Mott, 2006). Para calcular a través del programa PAST, se define el sistema de unidades, se introducen los parámetros de diseño y se define el material de la tubería, como se ilustra en la Figura 6.

Figura 6. Definición de parámetros de diseño para el cálculo de la tubería.  
Elaboración propia

Una vez que se ingresan los parámetros con el botón de calcular se obtiene el resultado que presenta la tubería comercial que cumple con los requerimientos para el sistema, como se muestra en la Figura 7.

Figura 7. Tubería comercial calculada con el software PAST.  
Elaboración propia

Como se puede apreciar en esta comparativa, al ingresar todos los parámetros pertinentes y sin dejar campos vacíos, el programa empleará técnicas de Big Data para obtener soluciones confiables en tiempo reducido.

### Comparativa entre método analítico tradicional y solución con PAST (con accesorios)

Para calcular el tamaño de la tubería nueva y limpia de cédula 40 que conducirá  $0.50 \text{ pies}^3/\text{seg}$  de agua a  $60^\circ\text{F}$ , incluye una válvula de mariposa abierta por completo y dos codos de radio largo; restrinja la caída de presión a  $2.00\text{psi}$  en una longitud de 100 pies de tubería horizontal. Considerando que para el análisis de sistemas de tubería de clase III con accesorios se toma como base el diámetro nominal del análisis de sistemas de tuberías de clase III sin accesorios (Mott, 2006; Mataix, 2009; Streeter, 1999). En primer lugar, se calcula la pérdida de energía limitante, observando que la diferencia de elevación es igual a cero y el cambio de velocidades es tan pequeño que se considera despreciable. Partiendo de estas simplificaciones teóricas se tiene lo siguiente

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (1)$$

$$h_L = \frac{P_1 - P_2}{\gamma} \quad (2)$$

$$h_L = \frac{2 \text{ lib/pulg}^2}{62.4 \text{ lib/pie}^3} \left[ \frac{12 \text{ pulg}}{1 \text{ pie}} \right]^2 \quad (3)$$

$$h_L = 4.62 \text{ pies}$$

La rugosidad relativa del material, viscosidad cinemática y peso específico del agua a 60°F se puede consultar en el apéndice A, del libro Mecánica de Fluidos (Mott, 2006). Enseguida se introduce el valor de  $h_L$  en la expresión del diámetro para encontrar el valor del diámetro calculado

$$D = (0.66) \left[ \epsilon^{1.25} \left[ \frac{LQ^2}{gh_L} \right]^{4.75} + \nu Q^{9.4} \left[ \frac{L}{gh_L} \right]^{5.2} \right]^{0.04}$$

$$D = (0.66) \left[ (1.5 \times 10^{-4})^{1.25} \left[ \frac{(100)(0.5)^2}{(32.2)(4.62)} \right]^{4.75} + (1.21 \times 10^{-5})(0.5)^{9.4} \left[ \frac{100}{(32.2)(4.62)} \right]^{5.2} \right]^{0.04}$$

$$D = 0.3089 \text{ pies}$$

Se puede verificar en las tablas de acero comercial o soldado para tuberías de acero cédula 40, apéndice F, del libro Mecánica de fluidos (Mott, 2006). El diámetro que se estará utilizando será el diámetro calculado sin accesorios de  $D = 0.3355 \text{ pies}$ . Para simular una caída de presión deseada de 2.0psi. Después se examinará el valor resultante de la presión en el punto 2 para ver si es mayor o igual a 0psi, como se muestra en la ecuación (5)

$$P_2 = P_1 + \Delta P \quad (5)$$

$$P_2 = 0 \text{ PSI}$$

Para determinar el área se emplea la ecuación (6), para el caudal la ecuación (7), y para la velocidad la ecuación (8)

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (6)$$

$$A = \frac{\pi(0.335 \text{ pies})^2}{4} = 0.0884$$

$$Q = Av \quad (7)$$

$$v = \frac{Q}{A} \quad (8)$$

$$v = \frac{0.5 \text{ pies}^3/\text{seg}}{0.0884 \text{ pies}^2} = 5.55 \text{ pies/seg}$$

Después se determina el Número de Reynolds y la Rugosidad Relativa usando las ecuaciones (9) y (10)

$$N_R = \frac{vD}{\nu} \quad (9)$$

$$N_R = \frac{(5.55 \text{ pies/seg})(0.3355 \text{ pies})}{1.21 \times 10^{-5} \text{ pies}^2/\text{seg}} = 153886.3636$$

$$\begin{aligned} \text{Rugosidad Relativa} &= \frac{\varepsilon}{D} \\ \text{Rugosidad Relativa} &= \frac{1.50 \times 10^{-4} \text{ pies}}{0.3355 \text{ pies}} = 0.0000447093 \end{aligned} \quad (10)$$

Después, se determina el factor de fricción a través de la ecuación (11)

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log_{10} \left( \frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{N_R^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (11)$$

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log_{10} \left( \frac{1.5 \times 10^{-4} \text{ pies}}{3.7 \cdot 0.3355 \text{ pies}} + \frac{5.74}{(153886.3636)^{0.9}} \right) \right]^2} = 0.0191$$

Determinando las pérdidas de energía a través de la ecuación (12)

$$h_L = h_{LTUBERÍA} + 2h_{LCODOS} + h_{LVÁLVULA MARIPOSA} \quad (12)$$

$$h_L = f_{TUB} \left( \frac{L_{TUB}}{D} \right) \left( \frac{v^2}{2g} \right) + 2f_{COD} \left( \frac{L_e}{D} \right) \left( \frac{v^2}{2g} \right) + f_{VAL} \left( \frac{L_e}{D} \right) \left( \frac{v^2}{2g} \right)$$

Tomando los valores correspondientes y resolviendo se obtiene la pérdida energética

$$h_L = 3.4994 \text{ pies}$$

Despejando la presión para el punto 2 de la ecuación general de la energía con el valor de las pérdidas de energía calculadas previamente, esto de acuerdo con lo mostrado en la ecuación (13)

$$p_{2real} = p_1 - \gamma \left( z_1 - z_2 + \frac{(v_1)^2 - (v_2)^2}{2g} - h_L \right) \quad (13)$$

Evaluando la expresión con los datos obtenidos de los apéndices del libro de Mecánica de fluidos (Mott, 2006), se obtiene:

$$p_{2real} = 0.48359 \text{ psi}$$

Este resultado muestra que la presión en el punto 2, en el extremo del sistema es de 0.4835psi. Siendo el diseño satisfactorio. Las pérdidas provocadas por los codos y válvulas son en verdad pérdidas menores. La dimensión nominal de tubería comercial que cubre estas especificaciones corresponde a la tubería de acero de 4 pulgadas cédula 40, con diámetro interno de  $D = 0.3355$  pies. Si se realiza el cálculo usando el software PAST, una vez que se elige el sistema de unidades se debe introducir cada parámetro en el campo correspondiente.



Elaboración propia

Se puede observar que el resultado en esencia es el mismo, pero obtenido mediante técnicas de manipulación de grandes volúmenes de datos de forma rápida y confiable como lo indica el Big Data.

**RESULTADOS**

Para evaluar la funcionalidad de la aplicación PAST (Programa de Análisis de Sistemas de Tubería, nombre asignado a la aplicación), se consideraron diferentes ejercicios tomados del libro Mecánica de Fluidos, sexta edición de Robert L. Mott, del capítulo 11, Sistemas de tuberías en serie para los sistemas de clase III; los ejercicios fueron resueltos por alumnos de la carrera de Ingeniería Electromecánica del Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, estos estudiantes estaban cursando o habían aprobado la materia de Mecánica de fluidos. Con esta prueba se obtuvo el tiempo que demoraban en resolver los problemas, después se resolvieron los ejercicios usando la aplicación. Los resultados obtenidos en esta etapa se pueden apreciar en la Figura 11.

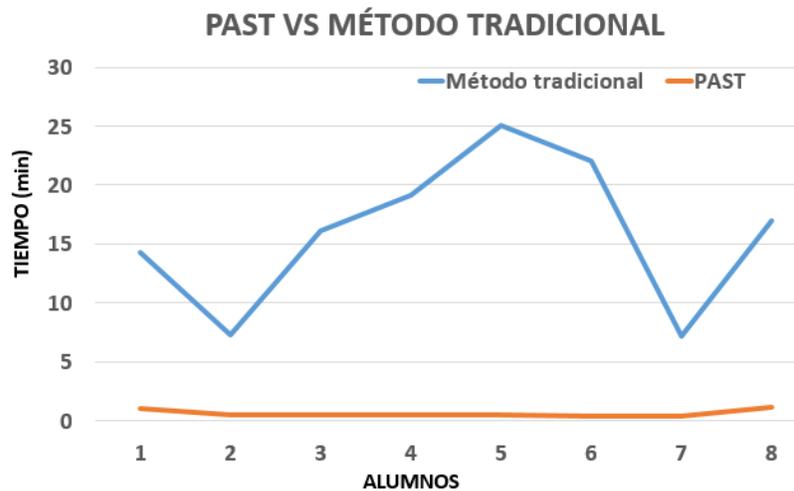


Figura 2. Programa de Análisis de Sistemas de Tuberías de Clase III contra el método analítico tradicional. Elaboración propia.

Después de obtener los tiempos de solución entre los métodos usados, se determinaron los promedios que se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Promedios de tiempos de solución

Método empleado	PROMEDIO (min)
METODO TRADICIONAL	16:14
PROGRAMA COMPUTACIONAL	00:49

Nota Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, el tiempo de solución se reduce considerablemente para los sistemas de tuberías de clase III, usando el programa computacional PAST, cabe aclarar que los problemas que se tomaron como referencia fueron los primeros del capítulo antes mencionado, si se hubieran propuesto problemas con accesorios el tiempo requerido para el cálculo habría incrementado drásticamente debido al análisis complejo que se requiere para su solución. El algoritmo de solución del programa PAST es flexible y reconfigurable, permitiendo de esta manera soluciones obtenidas de grandes volúmenes de datos a través del empleo de técnicas de Big Data; esto sin comprometer la confiabilidad de los resultados entre un enorme volumen de datos variables que se seleccionan con velocidad, pero manteniendo la veracidad y el valor de los mismos.

El programa PAST ofrece la posibilidad de seleccionar entre un catálogo para materiales de tubería, incluir entre diferentes accesorios, advertencias cuando se presentan inconsistencias o campos vacíos; además de ser intuitivo y preciso. Una de las grandes ventajas es que el software obtiene prácticamente cualquier propiedad del agua a cualquier temperatura, además de incluir las tablas de los diferentes materiales para tuberías disponibles comercialmente. Para esta versión se considera únicamente el agua como el fluido de trabajo, en versiones posteriores se incluirán diferentes fluidos. Para esta aplicación se incluye un número de accesorios restringido. Otra desventaja es la compatibilidad con el sistema operativo ya sea de 32 o 64 bits.

## CONCLUSIONES

El programa PAST, desarrollado como una interfaz gráfica en el lenguaje de programación de Matlab®, ha demostrado ser una herramienta confiable y precisa que emplea técnicas de Big Data para la manipulación de grandes volúmenes de información con rapidez y confiabilidad. Ingresando los parámetros correctos durante la caracterización del sistema de tuberías de clase III, el programa determina el tamaño de tubería comercial requerido para las condiciones de operación además de reducir los tiempos de cálculo sin comprometer la confiabilidad del sistema. El PAST se concibe como una alternativa a los programas comerciales para el cálculo de sistemas residenciales, sistemas de riego, aplicaciones académicas e industriales; además de que el costo de la licencia de Matlab® es más bajo que el de aplicaciones comunes.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bentley (2018). *WaterCAD, modelado certificado de sistemas de distribución de agua*. Obtenido de: <https://www.bentley.com/es/products/product-line/hydraulics-and-hydrology-software/watercad>
- Cervantes, O., & Báez, D. (2012). *MATLAB con aplicaciones a la ingeniería, Física y Finanzas*. México: Alfaomega.
- Charter plastics (2018). Official Web Site of Charter Plastic. Obtenido de: <http://www.charterplastics.com/>

- Copper Development Association Inc. (CDA) (2018). Official Web Site of Copper Development Association Inc..Obtenido de: <https://www.copper.org/>
- Ductile Iron Pipe Research Association (DIPRA) (2015). Official Web Site of Ductile Iron Pipe Research Association. Obtenido de: <http://www.dipra.org/>
- Environmental Protection Agency (EPA) (2017). *EPANET application for modeling drinking water distribution systems*. Obtenido de: <https://www.epa.gov/water-research/epanet>
- Jiménez-Medina, O. (2015). Fórmulas generales para los coeficientes de Chézy y de Manning. *Tecnología y ciencias del agua*, 6 (3), 33-38. Obtenido de: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222015000300003&lng=en&tlng=](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222015000300003&lng=en&tlng=).
- Mataix, C. (2009). *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*. México: Alfaomega.
- Mott, R. L. (2006). *Mecánica de fluidos. 6ª edición*. México: Prentice-Hall.
- Nacobre (2016). *Catálogo de productos*. Obtenido de: [http://www.nacobre.com.mx/download/ayudas/nuevos/catalogo\\_nacobre\\_2016-2017.pdf](http://www.nacobre.com.mx/download/ayudas/nuevos/catalogo_nacobre_2016-2017.pdf)
- Oracle (2013). *¿Qué es Big Data?*. Obtenido de: <https://www.oracle.com/mx/big-data/guide/what-is-big-data.html>
- Plastic Pipe Institute (PPI) (2018).Official Web Site of Plastic Pipe Institute . Obtenido de: <https://www.plasticpipe.org/>
- Ryan Herco Flow Solutions (RHFS) (2018). Official Web Site of Ryan Herco Flow Solutions. Obtenido de: <https://www.rhfs.com/>
- Sicular, S. (2013, 27 de Marzo ). Garner's big data definition consist of three parts, not to be confused with three "V"s. *Forbes*. Obtenido de: <https://www.forbes.com/sites/gartnergroup/2013/03/27/gartners-big-data-definition-consists-of-three-parts-not-to-be-confused-with-three-vs/#5f2ad27542f6>
- Streeter, V. (1999). *Mecánica de fluidos*. México: MCGRAW-HILL INTERAMERICANA.
- TubeNet (2018). *Tube and Pipe especifications*. Obtenido de: <http://www.tubenet.org.uk/tubes.shtml>
- Vidrasa (2017). *Tubos de vidrio - especificaciones*. Obtenido de: <http://www.vidrasa.com/esp/productos/duratan/duratan.html>