

Ingeniería inversa sobre un dispositivo ahorrador de consumo de agua para su potencial aplicación en ciudades con presiones hidráulicas por debajo de 40 PSIG

**Reverse engineering on a water-saving device for it potential
application in cities with hydraulic pressures below 40 PSIG**

Javier Andrés Carpintero Durango*

Saúl Antonio Perez Perez**

Jonathan Fabregas Villegas***

Jorge Luis Pacheco Yepes****

Jennifer Luz Villa Dominguez*****

Camilo Ernesto Fontalvo Calvo*****

* Master of Science in Mechanical Engineering, Department of Civil and Environmental, Universidad De La Costa, Barranquilla, Colombia, jcarpint3@cuc.edu.co

** Master of Science in Mechanical Engineering, Universidad Autónoma del Caribe, , Barranquilla, Colombia, saul.perez@uac.edu.co

*** Master of Science in Mechanical Engineering, Universidad Autónoma del Caribe. Barranquilla, Colombia, jonathan.fabregas@uac.edu.co

**** Master of Science in Mechanical Engineering, Department of Civil and Environmental, Universidad De La Costa, , Barranquilla, Colombia, jpacheco54@cuc.edu.co

***** Master of Science in Mechanical Engineering, Department of Civil and Environmental, Universidad De La Costa, Barranquilla, Colombia, jvilla27@cuc.edu.co

***** Master of Science in Mechanical Engineering, Universidad Autónoma del Caribe, Barranquilla, Colombia, camilofontalvo@yahoo.com

Fecha de recepción: 8 de Julio de 2018

Fecha de aceptación: 18 de Octubre de 2018

Citación:

Carpintero Durango, J. A., Perez Perez, S. A., Fabregas Villegas, J., Pacheco Yepes, J. L., Villa Dominguez, J. L., & Fontalvo Calvo, C. E. (2018). Ingeniería inversa sobre un dispositivo ahorrador de consumo de agua para su potencial aplicación en ciudades con presiones hidráulicas por debajo de 40 PSIG. Gestión, Competitividad e innovación(Julio-Diciembre), 67-78.

RESUMEN

La demanda de agua-energía a nivel mundial, es determinante en la seguridad y la economía de los países en vías de desarrollo. Se entiende que hay avances tecnológicos en urbes de primer mundo para mitigar estas problemáticas, pero aún se requiere de la tropicalización de estas soluciones, para las necesidades similares que hay en las demás partes del globo. Como método de diseño, la ingeniería inversa puede replicar la creación de productos, sin tener a la mano planos de fabricación, documentación o modelado por computador del componente de forma preliminar. En esta investigación se describe la caracterización de una válvula ahorradora de agua, denominada WaterProfit®, a la adquisición de un ejemplar de uso comercial en Estados Unidos. Para el modelamiento 3D se acude a herramientas computacionales para referenciar las dimensiones de los componentes individuales del dispositivo y, a través de medios experimentales, se estima la constante del resorte de compresión que ella posee. Se espera que estos resultados parciales sirvan de base para incentivar futuras investigaciones que puedan adaptar esta tecnología de uso eficiente del agua, en ciudades de Colombia que tengan el potencial de impactar significativamente en el consumo de agua y energía a nivel nacional. Se coloca un resumen en español de máximo 250 palabras.

Palabras Claves: Agua, Energía, Ingeniería Inversa, WaterProfit, CAD, Resorte de Compresión

ABSTRACT

The demand for water-energy worldwide is a determining factor in the security and economy of developing countries. It is understood that there are technological advances in the cities of the first world, to mitigate these problems, but it is still necessary to tropicalize these solutions, for the needs similar to other parts of the globe. As a design method, reverse engineering can replicate the creation of products, without having preliminary drawings, documentation or computer modeling of the component at hand. This research describes the characterization of a water-saving valve, called WaterProfit®, based on the acquisition of a copy of commercial use in the United States. For 3D modeling, CAD software is used to reference the dimensions of the individual components of the device and through experimental means, it is estimated the compression spring constant that it possesses. It is expected that these partial results will serve as a basis, to encourage future research that can adapt this technology of efficient use of water, in cities of Colombia that have the potential to significantly impact the consumption of water and energy nationwide.

Keywords: Water, Energy, Reverse Engineering, WaterProfit, CAD, Compression Spring..

1. Introducción

El agua potable depende de recursos energéticos para poder ser captada, tratada y entregada a los usuarios finales de las localidades que la usan. Se entiende que dentro de las plantas de producción de agua existen indicadores en unidades tales como kWh/m³, para estimar cuánta energía deben invertir los sistemas de potabilización en la producción de un volumen determinado del fluido. Numéricamente, si este valor es bajo se infiere que menos energía es necesaria para potabilizar esta sustancia.

En el caso de la ciudad de Barranquilla-Colombia, la empresa AAA (2017) prestadora del servicio reporta un consumo de energía equivalente 156 GWh/año de los cuales un 93.6% corresponde a bombeo y abastecimiento para la producción de 223600m³ de agua potable. De allí que el indicador global se sitúe en 6892.5 kWh/m³-año.

Si bien se han fomentado estrategias desde la eficiencia energética para encontrar oportunidades de mejora en los procesos de la cadena productiva del agua, se hace imperioso incentivar tecnologías y estrategias de ahorro en los beneficiarios del servicio, no solo por el potencial que habría en la disminución de los costos relacionados al consumo en los sectores involucrados, sino por la posibilidad de obtener impactos significativos en el medio ambiente basados en la reducción de consumo de electricidad de las Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) y consecuentemente, en toneladas de gases de efecto invernadero (GEI) emitidas al año desde las centrales generadoras de energía que alimentan a estas plantas de tratamiento y distribución.

De este modo, se destaca como una posible alternativa para este fin, el dispositivo WaterProfit® (2018). La figura 1 muestra un esquema del equipo situado justo después del medidor volumétrico, que instala la empresa prestadora del servicio para mantener una zona de compresión en una región no mayor a 30 pies de longitud aguas arriba dentro de la tubería y, en consecuencia, reducir el volumen parcial de aire en la corriente de entrada de la acometida del acueducto hacia los sectores que consumen este fluido. De esta forma, se induce al contador a monitorizar información de volumen de agua consumida en las localidades, y no volumen de agua y aire en conjunto, como normalmente ocurre en toda red de sistema de distribución de agua potable. Igualmente, el equipo posee la ventaja de crear una presión de retroceso en líneas aguas debajo de este, para minimizar el caudal por fugas dentro de las instalaciones domiciliarias existentes.

En ciertas regiones de Estados Unidos, es común ver funcionar estos equipos en casas, condominios, hoteles, escuelas, universidades y empresas del sector productivo, dado que sus porcentajes de ahorros van entre un 10% a un 30% en la facturación mensual del consumo de agua. No obstante, uno de los principales factores que han promovido su difusión en esta región del mundo se debe a que las presiones de las redes de abastecimiento de estas localidades están por encima de 40PSIg. Teniendo en cuenta que este equipo está diseñado para este entorno, se cree que su funcionamiento es óptimo en estas condiciones de operación.

Pensar que esta solución es extrapolable a otras partes del continente americano depende fuertemente de las circunstancias de diseño con las que se abordaron los montajes de las acometidas de agua potable de los lugares que pudieren ser beneficiados por la implementación de esta tecnología. Por tal razón, se hace necesario

pensar en ahondar esfuerzos en ingeniería inversa, para su tropicalización y la detección de oportunidades de mejora en el funcionamiento de la válvula.

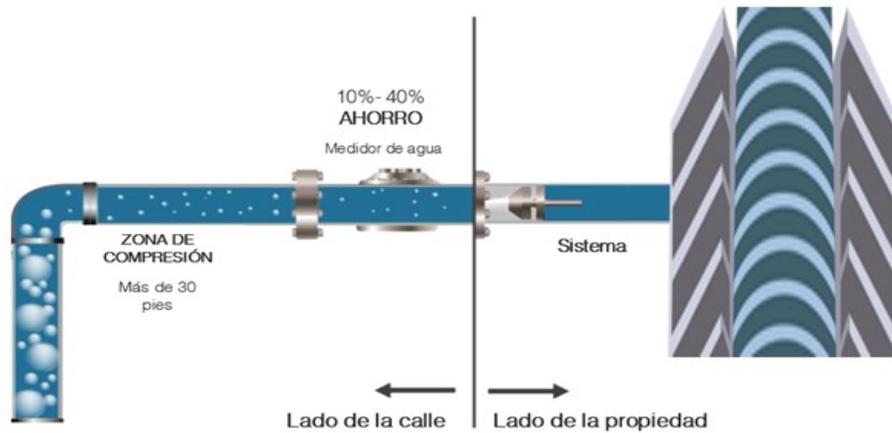


Figura 1. Esquema de funcionamiento de válvula WaterProfit. Fuente: Trexus Corp.

La ingeniería inversa es un método que replica un componente un sub-ensamble o cualquier producto en sí mismo sin la tenencia de sus planos de fabricación, documentación o modelado por computador del componente (Bhatti, Syed, & John, 2018). En esta investigación se presentan algunos avances en la búsqueda de este objetivo, considerando la caracterización dimensional de este dispositivo y la estimación de la constante elástica del resorte que posee para su funcionamiento.

2. Estado del Arte

Hamiche, Stambouli & Hamiche (2016) sugieren que las reformas industriales, el incremento de la demanda y el reciente fenómeno del cambio climático, han motivado la vinculación entre el agua y la energía como amenazas mutuas para la seguridad de cada uno de estos recursos. Esto por la concepción que para tratar, transportar y potabilizar agua, se necesita energía y, del mismo modo, para producir energía eléctrica, ciertos procesos necesitan de agua para funcionar.

En sus reflexiones establecen la forma en la que están relacionadas desde enfoques técnicos y socioeconómicos, pensando en sentar las bases para promover futuras iniciativas políticas, que mitiguen un escenario de escasez de alguno de estos bienes de la sociedad.

Kordana, Slys & Agnieszka (2017) exponen que el incremento de la demanda de agua y energía ha traído un incremento de los precios de estos recursos a nivel mundial. Ellos proponen que estas causas han provocado la necesidad de ver fuentes alternativas de estos bienes de consumo y con lo cual, proponen un análisis costo-beneficio de algunos sistemas capaces de reducir la demanda de agua potable y gas natural empleados en viviendas familiares.

En sus reflexiones sugieren que con la promoción de estas alternativas se pueden reducir los consumos de combustibles fósiles y de fuentes de agua natural, y de este modo contribuir a mejoras en el medio ambiente.

Wakeel, Chen, Hayat, Alseddi & Ahmad (2016) resuelven que la seguridad nacional y económica moderna, depende fuertemente del agua y la energía como recursos indispensables para el desarrollo de los países. El entendimiento del nexo que hay entre estos bienes de consumo de la sociedad, puede contribuir a minimizar el gasto de agua y energía e indirectamente, reducir emisiones ambientales. A través de sus investigaciones presentan un estado del arte de este tema, identificación de factores determinantes y posibles mejoras que midan la reducción del consumo de energía en el sector del agua.

Marinosky, Forgiarini & Ghisi (2018) evaluaron el beneficio ambiental de usar aguas grises, agua lluvia, aplicaciones de uso eficiente del agua y sus combinaciones en veinte casas de bajos ingresos, localizadas en el sureste del Brasil, empleando estimaciones del uso final del agua. El análisis del beneficio ambiental empleando estas estrategias fue desarrollado, utilizando un indicador que incluye la energía involucrada, los ahorros de agua potable, la reducción del consumo de agua y generación de agua residual durante el ciclo de vida del sistema.

Los resultados sugieren que la forma que produce mayores beneficios es la de gestión del uso eficiente del agua, la cual promueve directamente una reducción substancial de consumo de agua y producción de agua residual causando bajos impactos ambientales debido a la baja energía involucrada durante el ciclo de vida de esta alternativa.

Chang, Lee & Yoon (2018) explican que los sistemas de reúso de agua han sido ampliamente implementados a lo largo del globo como una solución ante la escasez y contaminación de agua fresca. No obstante, dada la controversia provocada por estos procesos de reutilización de agua, donde se deben invertir grandes cantidades de energía para poder entrar en funcionamiento, se examinó un estudio de casos en Corea donde se comparó el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero entre un sistema convencional y uno planteado para reciclaje de aguas servidas.

De los resultados obtenidos se concluyó que el reúso de aguas descentralizadas es clave en la administración del agua desde la eficiencia energética para obtener mínimos impactos en el cambio climático.

Wanjiru y Xia (2018) indican que por el incremento poblacional, la urbanización acelerada y a las mejoras en los estándares de vida del planeta, se ha promovido una alta demanda de agua y energía a nivel general. No obstante, sostienen que hay regiones semi-áridas de Sudáfrica donde los países en desarrollo enfrentan problemáticas de inseguridad de estos recursos.

En estos lugares sugieren la implementación de alternativas de reúso de aguas grises como plan de contingencia ante el contexto de las sociedades del continente americano. Para ello, detallan dos estrategias de control (de lazo abierto y un modelo de control predictivo por lazo cerrado (MPC) para aumentar los niveles de confiabilidad y seguridad en el suministro de agua potable. Finalmente exponen que estos beneficios aplicados a estas localidades no son económicamente autosostenibles y que el estado debe subsidiar estas propuestas a fin que sean económicamente atractivas.

Vaikifilard, Anda, Bahri, Ho & Vaikifilard (2018) consideran que el nexo agua-aire en sistemas de suministro de agua potable optimizados no solo garantiza la sostenibilidad del suministro de agua en función del incremento de la demanda, sino que mitiga a la energía relacionada al agua y las preocupaciones ambientales. En su investigación proponen

algunos modelos de optimización encaminados a este fin, enfocados a sistemas de tratamiento de aguas. Por último, establecen puntos a tener en cuenta en futuros estudios en el suministro de agua, basado en el nexo que tiene este recurso con la energía.

Wanjiru & Xia (2017) sostienen que el agua y la energía son recursos inseparables en construcciones residenciales urbanas. Así mismo consideran que la urbanización en países en vías de desarrollo está aumentando la demanda y todavía los suministros de estos bienes de consumo son limitados o inexistentes. Es así cómo enfocan su investigación en los sistemas de reciclaje de aguas urbanas descentralizadas, como una fuente alternativa de agua que puede aliviar la demanda de este servicio público.

Aunque destacan que hay factores de carácter socio-económico, ambiental y tecnológico que afectan la aceptación de estos sistemas, hay ciertos modelos de control de lazo abierto y cerrado que pueden mejorar la confiabilidad y seguridad de sistemas de reciclaje de aguas grises a nivel de edificaciones.

Estos investigadores proponen que la adopción de estas estrategias puede mejorar significativamente la seguridad en agua y energía en hogares urbanos y reducir su impacto en la producción de agua residual municipal. Por último, destacan que la tecnología en sí no es suficiente para ofrecer una solución a esta problemática, sino que debe ir acompañada de iniciativa política, regulación e incentivos, para soportar el surgimiento y aplicación de estas tecnologías.

Huang et al. (2018) describen un proceso de desalación basado en un nuevo sistema agua-energía. En esta investigación describen la necesidad de destacar los nexos agua-aire en un sistema de potabilización por destilación de membrana térmica y ósmosis inversa, con el fin de crear un modelo matemático de objetivo dual, para minimizar el consumo de combustible y agua fresca en los subprocesos que componen a este sistema.

Para ello se basan en formulaciones termodinámicas y análisis de sensibilidad de diversas variables de entrada en el proceso. Los resultados son favorables en comparación a sistemas convencionales de integración de agua-energía, ya que minimiza los recursos entre un 1.7% hasta un 21% bajo ciertas condiciones.

Rammath et al.(2018) han implementado una estrategia de ingeniería inversa para obtener información de un cigüeñal. Para ello, emplearon modelamiento asistido por computador usando CATIA y utilizaron análisis de optimización de este componente mecánico para evaluar y comparar el desempeño a la fatiga con tres diferentes materiales de cigüeñales de automóvil.

Esta simulación dinámica, igualmente fue verificada en ANSYS para luego optimizarla teniendo en cuenta diferentes tipos de restricciones como la geometría, el proceso y factibilidad de manufactura y costos. Los puntos críticos de diseño fueron determinados por análisis de deformación del cigüeñal. Igualmente, se procedió a usar estudios topológicos para reducir el peso y aumentar la durabilidad de esta pieza.

Buonamici et al. (2018) han empleado como modelo de ingeniería inversa un método de reconstrucción de CAD, basado en datos históricos de mallado de modelos paramétricos. Para este proceso de ajuste se emplea un algoritmo de optimización por enjambre de partícula. Los resultados que ofrece su novedosa técnica de captación de información de modelos en 3D, es comparable y/o mejor que los resultados publicados en el estado del arte

de este método de ingeniería. Destacan que el costo computacional y el tiempo requerido para llevar a cabo estos procedimientos son considerables.

Anwer y Mathieu (2016) proponen que la ingeniería inversa y la ingeniería de forma juegan un papel fundamental en el diseño y la fabricación a través del uso de tecnologías de procesamiento de adquisición de forma en el proceso de desarrollo de productos. La aplicación de teorías de forma, modelado geométrico y caracterización de variables están labrando el camino para métodos más genéricos de la ingeniería inversa.

3. Descripción y Metodología

La figura 2 describe una vista explosionada de los componentes que conforman el dispositivo reductor de volumen de aire en tuberías de acueducto con diámetros nominales de $\frac{3}{4}$ " a 1"- SCH40. Este diseño asistido por computador (CAD), se realiza con base a la adquisición de un ejemplar de típico uso en el mercado estadounidense y con material de fabricación en ABS. Posterior a eso, se despieza y se dimensiona a modo individual cada una de las partes de la válvula, para luego ensamblarlos de forma tal que se puedan vincular relaciones de posición entre ellos al conformar la geometría del dispositivo articulado.

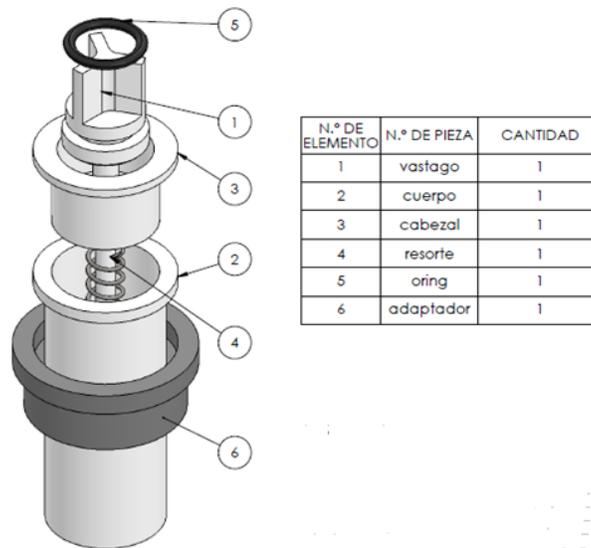


Figura 2. Vista explosionada de válvula WaterProfit®. Fuente: Propia

La información CAD es importante en este proceso de ingeniería inversa, ya que permite fundamentar la creación de otros componentes para medir algunas propiedades físicas de la válvula. Tal es el caso de la medición de la constante del resorte, la cual se estima por medio del esquema planteado en la figura 3, donde el componente referenciado como portamasas, fue creado en material de PLA y fabricado por modelado de deposición fundida (FDM), basándose en la información dimensional detectada de la parte superior del vástago de la válvula WaterProfit®.



Figura 3. Montaje para medición de constante de resorte de WaterProfit®. Fuente: Propia

El banco de prueba se encarga de mantener en una posición libre, la lectura de la carrera del vástago cuando se someta a una carga controlada, la parte móvil de la válvula. En la medida que se incorpora peso sobre el elemento porta-masas, el vástago sale del cuerpo de la válvula en una distancia equivalente a la deformación del resorte. Se usa un vernier para medir esta longitud y luego se procedió a relacionar la cantidad de masas controladas con las mediciones en la deformación del elemento elástico.

Se inicia con una masa de 537.9g ubicada en el porta-masas, para luego ir aumentando la carga sobre el resorte en incrementos de 50 g. Finalmente, se iba midiendo la deformación existente en el resorte de la válvula, conforme variaba el peso a soportar en la parte móvil de la misma.

4. Resultados y Discusión

La figura 4 muestra la tendencia en la deformación del resorte frente a variaciones en las cargas aplicadas con datos $\pm 1.5\sigma$ filtrados a de la muestra analizada. La tendencia fuertemente lineal entre la carga aplicada al resorte y las deformaciones presentes en él, denotado por el estadístico con valor 0.99, ajusta los datos experimentales por la expresión:

$$F = [0.5736(\delta)] + 4.54 \quad (1)$$

Donde:

F: Fuerza sobre el resorte (N)

δ : deformación del resorte de compresión (m)

Matemáticamente, la pendiente de esta expresión es interpretada como la constante del resorte. Se infiere que esta propiedad del elemento deformable es cercana a 5N/mm, no dejando de lado que en la zona de mayor linealidad, esta puede encontrarse en valores de 2N/mm a 3N/mm.

Igualmente, el valor de 4.54N obtenido de este análisis de correlación, es interpretado como una precarga del resorte, mientras este se encuentre ensamblado en la válvula. Se debe tener en cuenta que antes y durante las mediciones descritas sobre el dispositivo armado, había una sección del vástago por fuera del cuerpo, en una distancia de 1mm.

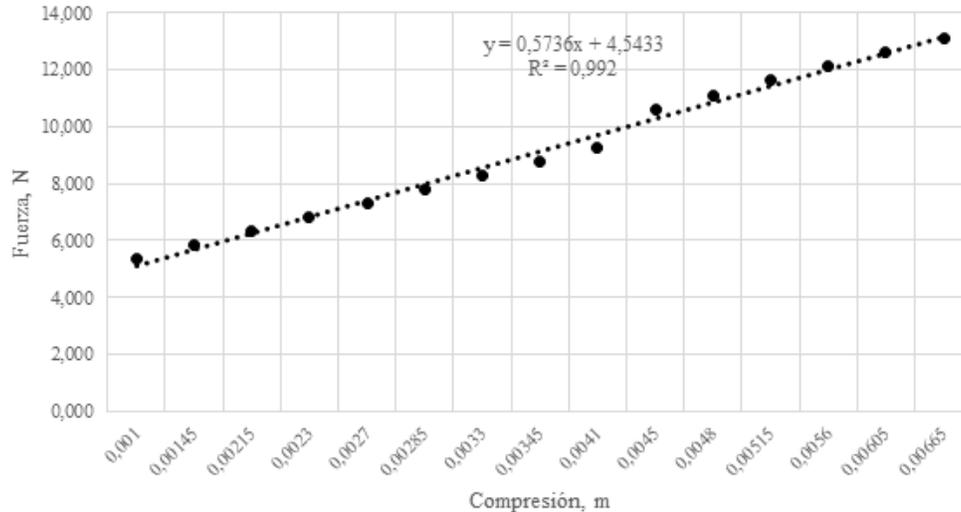


Figura 4. Fuerza aplicada vs Compresión del resorte. Fuente: Propia

Por otra parte, las dos lecturas iniciales y las cuatro lecturas finales de deformación del resorte, no mostraban una clara correspondencia entre los incrementos de carga y las distancias obtenidas, como se puede observar en la figura 5. Al final de las experimentaciones se puede observar que a pesar de elevar la carga en el resorte 200 g, la variación en la deformación y por tanto en la constante elástica fue despreciable. Esto se debe a que la longitud máxima de la carrera del vástago de la válvula es de 10mm y para las cargas entre los 1380g y 1610g se alcanzan deformaciones cercanas a los 8.8mm lo que falsea el resultado de k.

La presencia entonces, de pasos variables entre el inicio y el final del resorte, provoca que la relación entre fuerza ejercida y deformación no sea proporcional en los extremos de las mediciones tomadas. Esto se debe porque el muelle de compresión con alambre de sección circular de esta válvula, tiene un número de espirales activas que son funcionales en cierto porcentaje de la longitud libre del mismo

La figura 6 muestra un plano con dos vistas básicas del resorte encontrado en el dispositivo ahorrador de agua durante la generación de los CAD de los componentes. Los pasos variables en los extremos del muelle sirven para mejorar el posicionamiento del mismo dentro del apoyo que éste hace sobre el vástago de la válvula y sobre la superficie interior del cuerpo de la misma.

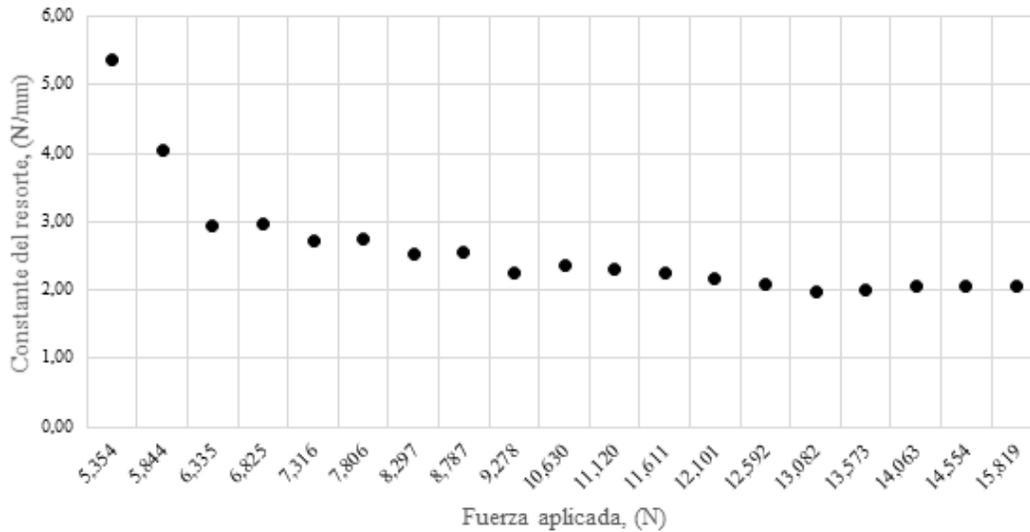


Figura 5. Constante del resorte frente a carga aplicada. Fuente: Propia

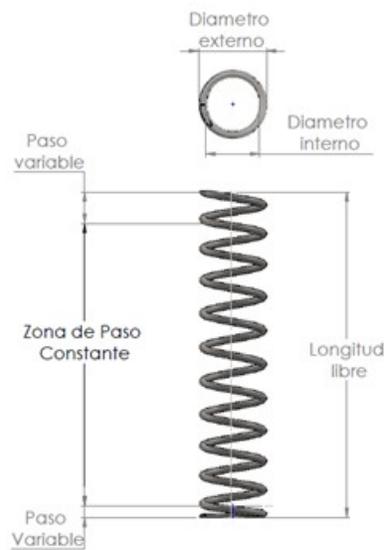


Figura 6. Dimensiones de interés para resorte de válvula WaterProfit®

Se considera que entre mayor área de contacto exista entre estos puntos de apoyo, habrá una deformación de mejor uniformidad en las espiras activas del componente y una menor desalineación del elemento deformable sobre el eje longitudinal del dispositivo ahorrador de agua. Finalmente se cree que esto traerá menores riesgos a sufrir fenómenos mecánicos como las vibraciones, que pueden afectar la vida útil de este equipo en el mediano plazo.

Conclusiones

Esta investigación consistió en enmarcar la importancia del nexo agua-energía en el consumo del preciado líquido de espacios urbanizados, donde la demanda es cada vez más

Revista Gestión, Competitividad e Innovación. Julio-Diciembre 2018. ISSN: 2322-7184.

Politécnico de la Costa Atlántica, Claustro Santa Bernardita, Barranquilla, Colombia

www.pca.edu.co/investigacion/revistas/index.php/gci/

alta y deben promoverse esfuerzos hacia el uso eficiente de estos recursos para garantizar la seguridad de los mismos en un futuro a mediano y largo plazo de las localidades en vías de desarrollo.

De esta manera, se analizó por la metodología de ingeniería inversa, el dispositivo WaterProfit® dado que su uso comercial en Estados Unidos, está limitado para acometidas de acueducto con presiones internas superiores a 40 PSIG. Por tal razón, se adquirió un ejemplar de esta tecnología y se sometió a un despiece, para la creación de los CAD de cada uno de sus componentes a través de herramientas computacionales. Con ello se diseñó y creó un elemento porta-masas basado en la geometría de la parte superior de la válvula para tamaños de tubería de ¾” a 1” SCH40, con la ayuda de técnicas de impresión en 3D.

Se encontró una constante de resorte para la válvula adaptable a tuberías de ¾”-1” SCH 40, que en condiciones de presión de 40 PSIG es de 5N/mm aproximadamente. Sin embargo, en la zona de mayor linealidad del resorte esta constante puede aproximarse a valores entre los 2N/mm y 3N/mm.

Los comportamientos obtenidos en las mediciones al inicio y al final de la experimentación, con menores y mayores cargas aplicadas, no tuvieron un mecanismo de deformación basado en la ley de Hooke, porque el muelle de compresión con alambre de sección circular de esta válvula, tiene un número de espirales activas que son funcionales en cierto porcentaje de la longitud libre del mismo.

El resorte y el valor de su constante son cruciales para el desempeño y el cumplimiento del propósito de la válvula, en la medida en que opone la resistencia para generar los efectos de compresibilidad deseados en los fluidos bifásicos

Se espera que con estos resultados se puedan sentar las bases de simulaciones numéricas de los fenómenos físicos que gobiernan el flujo bifásico en el interior de este dispositivo, para conocer qué valor de constante de resorte es la adecuada en la separación de fluidos agua-aire de la corriente de entrada de las acometidas de acueducto de las ciudades con presiones hidráulicas de trabajo inferiores a 40 Psig.

Referencias

- Triple A(2017), «Sostenibilidad,» Aseo, Acueducto y Alcantarillado, AAA, Barranquilla.
- Trexus Corporation (2018) “WaterProfit®”, <https://www.waterprofit.com/>
- Attya Bhatti, Nida A. Syed, Peter John.(2018) “Reverse engineerings and its applications”. En Omic Technologies and Bioengineering. Towards improving quality of life.p.95-110
- Ait Mimoune Hamiche, Amine Boudghene Stambouli, Samir Flazi.(2016) “A review of the water-energy nexus”. En Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol. 65 p.319-331.
- Agnieszka Stec, Sabina Kordana, Daniel Slys.(2017) “Analysing the financial efficiency of use of water and energy saving in single families homes”. En Journal of Cleaner Production. Vol. 151. p. 193-205
- Muhammad Wakeel, Bin Chen, Tawasar Hayat, Ahmed Alsedi, Bashir Ahmad. (2016). “Energy consumption for water use cycles in different countries: A review”. En Applied Energy. Vol. 178. p 868-885.

- Ana Kelly Marinosky, Ricardo Forgiarini Rupp, EneDir Ghisi.(2018). “Environmental benefit analysis of strategies for potable water savings in residential buildings.” En *Journal of Environmental Management*. Vol. 206. p28-39.
- Jin Chang, Woojin Lee, Sukhwan Yoon.(2018) “Energy consumptions and associated greenhouse gas emissions in operation phases of urban water reuse systems in Korea”. En *Journal of Cleaner Production*. Vol. 141. p.728-736
- Evan Wanjiru, Xiaohua Xia.(2018) “Sustainable energy-water management for residential houses with optimal integrated grey and rain water recycling”. En *Journal of Cleaner Production*. Vol. 170. p1151-1166.
- Negar Vaikifilard, Martin Anda, Parisa A. Bahri, Goen Ho.(2018) “The role of water-energy nexus in optimizing water supply systems-review of thecnices and approache”s. En *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 82, parte 1 p.1424-1432.
- Evan Wanjiru, Xiaohua Xia. (2017)“Optimal Energy-water management in urban residential buildings through grey water recycling”. En *Sustainable cities and society*. Vol. 32.p654-668.
- Xiaojian Huang, Xianglong Luo, Jianyong Chen, Zhi Yang, Ying Chen, Jose Maria Ponce Ortega, Mahmoud M. El-Halwagi. (2018) “Synthesis and dual objective optimization of industrial combined heat and power plants compromising the water-energy nexus”. En *Applied Energy*. Vol. 224 p.448-468.
- B. Vijaya Rammath, C. Elanchezhian, J. Jeykrishnan, R. Ragavendar, P.K. Rakesh, J. Sujay Dhamodar, A. Danasekar. (2018) “Implementation of reverse engineering for crankshaft manufacturing industry”. En *MaterialsToday: Proceedings*. Vol. 5. p.994-999.
- Francesco Buonamici, Monica Carfagni, Rocco Furferi, Lapo Governi, Alessandro Lapini, Yari Volpe. (2018) “Reverse Engineering of Mechanical parts: A template based approach”. En *Journal of computational design and engineering*. Vol. 5-issue 2.p145-159.
- Nabil Anwer, Luc Mathieu. (2016) “From reverse engineering to shape engineering in mechanical design”. En *CIRP Analysis*. Vol. 65, issue 2. p165-168.
- Holton, M. and Alexander, S. (1995) “Soft Cellular Modeling: A Technique for the Simulation of Non-rigid Materials”, *Computer Graphics: Developments in Virtual Environments*, R. A. Earnshaw and J. A. Vince, England, Academic Press Ltd., p. 449-460.
- Knuth, D. E. (1984), *The TeXbook*, Addison Wesley, 15th edition.
- Smith, A. and Jones, B. (1999). On the complexity of computing. In *Advances in Computer Science*, pages 555–566. Publishing Press.