



Recepción: 10 / 11 / 2016

Aceptación: 15 / 03 / 2017

Publicación: 05 / 05 / 2017

Ciencias técnicas y aplicadas

Artículo corto

Optimización del consumo energético del acueducto el Aromo - La Esperanza

Optimization of the energy consumption of the aqueduct El Aromo - La Esperanza

Otimização do consumo de energia do aqueduto El Aromo - La Esperanza

Ángel F. Moreira-Romero ¹

angelmoreira20@hotmail.com

Correspondencia: angelmoreira20@hotmail.com

¹ Magister en Sistemas de Transporte de Petróleo y Derivados Msc., Magister en Procesos Industriales, Ingeniero Industrial, Docente de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, Manta, Ecuador.

Resumen

El presente estudio, está orientado a determinar la optimización del consumo energético del acueducto El Aromo - La Esperanza, en la satisfacción de las necesidades del complejo petroquímico y sociales de la región, aplicando las fórmulas que gobiernan la mecánica de fluidos; la herramienta informática que utilizaremos es el Hysys, que es un software que nos permitirá establecer las diferentes alternativas operación. La topografía es fundamental para determinar qué tipo de consideraciones hidrodinámica se deben realizar, para ello se simula el acueducto partiendo de la topografía del mismo, diámetro de la tubería, espesor, caudal de bombeo, consumo de las ciudades como Jaramijó, Manta, Montecristi y fundamentalmente el consumo de agua de la Refinería del pacifico. Se simulan varios escenarios como, que pasa si la Refinería del Pacifico no entra en funcionamiento, o si el consumo de agua de alguna de las ciudades baja, entonces conocer cuáles son las condiciones de operación que tendrá el acueducto antes estos escenarios. Con esta investigación, la Refinería del Pacifico podrá contar con el caudal suficiente e ideal para la operación, y las ciudades como Jaramijó, Manta y Montecristi se verán beneficiadas porque les permitirá tener una disponibilidad de agua ideal y evitar desabastecimientos por mala distribución o pérdidas de presión por mala operación.

Palabras clave: acueducto; sistema de distribución de agua; flujo en tubería; topografía; hidrodinámica.

Abstract

The present study, is oriented to determine the optimization of the energy consumption of the El Aromo - La Esperanza aqueduct, in the satisfaction of the needs of the petrochemical and social complex of the region, applying the formulas that govern the fluid mechanics; The computer tool we will use is the Hysys, which is software that will allow us to establish the different operation alternatives. The topography is essential to determine what type of hydrodynamic considerations should be made, for it is simulated the aqueduct starting from the topography of the same, diameter of the pipe, thickness, flow of pumping, consumption of cities such as Jaramijó, Manta, Montecristi and basically the water consumption of the Pacific Refinery. Several scenarios are simulated, such as what happens if the Pacific Refinery does not come into operation, or if the water consumption of any of the cities falls, then know what are the operating conditions that the aqueduct will have before these scenarios. With this research, the Pacific Refinery may have

sufficient and ideal flow for the operation, and cities such as Jaramijó, Manta and Montecristi will be benefited because it will allow them to have an ideal water availability and avoid stockouts due to maldistribution or losses of water. pressure due to bad operation.

Keywords: aqueduct; water distribution system; flow in pipe; topography; hydrodynamics.

Resumo

Este estudo visa determinar a otimização do consumo de energia do aqueduto El Aromo - La Esperanza, no atendimento das necessidades da petroquímica e complexo social na região, aplicando as fórmulas que regem a mecânica dos fluidos; A ferramenta de computador que usaremos é a Hysys, que é um software que nos permitirá estabelecer as diferentes alternativas de operação. A topografia é crítico para determinar que tipo de considerações hidrodinâmicas deve ser feita, para os quais a tubagem com base na topografia da mesma, o diâmetro do tubo, espessura, a taxa de bombeamento, o consumo de cidades como Jaramijó Cobertor Montecristi simulados e basicamente o consumo de água da Refinaria do Pacífico. Vários cenários como, e se a Refinaria do Pacífico não entram em operação, ou se o consumo de água em algumas das cidades mais baixos, em seguida, saber o que as condições operacionais que irá aqueduto antes que esses cenários são simulados. Com esta pesquisa, a Refinaria do Pacífico terá o suficiente e ideal para o fluxo de operação, e cidades como Jaramijó, Manta e Montecristi vai beneficiar porque vai permitir que você tenha uma disponibilidade de água ideal e evitar rupturas por má distribuição ou perdas pressão devido a mau funcionamento.

Palavras chave: aqueduto; sistema de distribuição de água; fluxo no tubo; topografia; hidrodinâmica.

Introducción

La palabra acueducto como la conocemos tiene su origen, en el antiguo imperio romano, Aquaeductus (Aqvaedvctvs) era la forma habitual con la que se designaba a un conducto que transportara agua, no importando si era a través de un canal, un puente, una galería o de una cañería. Más, en la antigua Grecia la “conducción de agua” era llamada Hidráulica, de (Hydor, agua y aulos, tubo o conducción). (Netto, 2005)

En el año de 145 a.C., el pretor, Marció, construyó el primer acueducto Romano que transportara agua al nivel del suelo, el Aqua Marcia, este tenía la no despreciable longitud de 90 Km. Para el año 70a.C. la complejidad de los acueductos era tan grande (más de 10 acueductos y un caudal de

135.000 m³ de agua por día), que fue necesario designaron Superintendente de Aguas de Roma o Curator Aquarum. (Leon, 2004)

Refinería del Pacífico Eloy Alfaro CEM, (RDP), requiere de una fuente de agua dulce cruda que permita su operación. Los estudios realizados por RDP determinaron que la fuente más idónea es la represa La Esperanza, siendo necesario contar con un sistema de bombeo y un sistema de conducción (acueducto).

El agua que se transportará por el acueducto, se tomará directamente de la represa La Esperanza ubicada a 69 metros sobre el nivel del mar (msnm), por medio de un sistema de seis bombas verticales con motores eléctricos (cinco bombas en operación y una bomba como respaldo), que se instalarán sobre una plataforma dentro del embalse, a la cual se tendrá acceso a través de un muelle de 200 m de longitud sobre una estructura metálica.

Importancia del problema

El ducto partirá desde la Estación de Bombeo La Esperanza, tiene una extensión de aproximadamente 93 km y llegará al sitio denominado A2 cerca de la población El Aromo, ubicado a 295 metros sobre el nivel del mar.

El ducto está completamente enterrado y tiene un diámetro nominal de 48 pulgadas. El tipo de material seleccionado es acero al carbono API 5L X60 PSL2

El acueducto dispone de instalaciones de conexión para el suministro de agua cruda a las ciudades de Jaramijó, Montecristi y Manta

Por lo tanto, determinar cuáles son las condiciones de operación del acueducto es importante y evaluar los parámetros de funcionamiento ante diferentes escenarios, es de vital importancia para satisfacer las necesidades de la refinería del pacífico y de las ciudades por donde atraviesa

Metodología

Ecuaciones para el transporte de fluido en tubería

- **Ecuación para la conservación de masa.**

La conservación de la masa flujo significa que la masa que ingresa, menos la masa que sale de un volumen de control debe ser igual a la masa acumulada en el volumen de control. (Perry, 2008)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial L} = 0; (1)$$

Dónde:

ρ = Densidad del fluido

v = Velocidad del fluido

t = Tiempo

L = Longitud de la tubería.

- **Ecuación para la conservación de momentum.**

Sobre la base de la segunda ley de Newton aplicada para el flujo de fluido en un segmento de tubería, la velocidad de cambio de impulso en el volumen de control es igual a la suma de todas las fuerzas en el fluido entonces la ecuación de conservación de momentum lineal para el segmento de tubo se puede expresar como (Perry, 2008)

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v)^2}{\partial L} = \frac{\partial p}{\partial L} - \tau \frac{\pi d}{A} - \rho g \sin \theta; (2)$$

Donde:

$$\frac{\partial p}{\partial L} = \textit{Gradiente de presión}$$

$$\tau \frac{\pi d}{A} = \textit{Fuerza de la superficie}$$

$$\rho g \sin \theta = \textit{Fuerza del cuerpo}$$

- **Ecuación general de la energía**

La ecuación de la energía es una expansión de la ecuación de Bernoulli donde presenta pérdidas y adiciones de energía. (Mott, 1996)

Partiendo de la ecuación de la energía en un ducto:

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gz_2 + gH_p;$$

Donde:

p : es la presión en la entrada o salida del ducto o tubería $\left[\frac{N}{m^2}\right]$

$\frac{V_1^2}{2}$ = Cabeza de Velocidad

ρ : es la densidad a la entrada $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

g : es la aceleración de la gravedad, $9.8 \left[\frac{m}{s^2}\right]$

z : es la altura con respecto al nivel de referencia $[m]$

H_p : representa a las pérdidas de energía debido al rozamiento y accesorios $[m]$

Se asume que el valor de la densidad no varía entre el estado del punto 1 y del punto 2.

- **Fricción del Fluido**

Un fluido en movimiento ofrecer una resistencia de fricción al flujo. Parte de la energía del sistema se convierte en energía térmica (calor) la cual se disipa a través de las paredes del conducto en el que el fluido se desplaza. (Perry, 2008)

Las pérdidas de energía del fluido, asociadas con el rozamiento, se determinan a partir de la ecuación:

$$H_p = f \frac{L V^2}{D 2g}; [m]; (4)$$

Donde

f : es el factor de fricción – adimensional.

- **Correlación de Hazen Williams**

Factor de fricción solo para agua tenemos:

$$f = \frac{1}{192} \left(\frac{150}{v_m} \right)^{0.15} d^{-0.17}; (3)$$

Donde:

f = es el factor de fricción

v_m = es el volumen

d = es el diámetro de la tubería

- **Número de Reynolds**

El número de Reynolds es una relación entre las fuerzas inerciales y las fuerzas viscosas. Un número de Reynolds crítico distingue entre los diferentes regímenes de flujo, tales como laminar o turbulento en tuberías, en la capa límite, o alrededor de los objetos sumergidos. (Streeter Victor, 2000)

Re: es el número de Reynolds, adimensional. Se obtiene de la siguiente relación:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} ; (5)$$

Donde μ es la viscosidad dinámica [Pa.s]

L: es la longitud total de la tubería [m]

D: es el diámetro interior de la tubería [m]

g : es la aceleración de la gravedad, $9.8 \left[\frac{m}{s^2} \right]$

V: es la velocidad promedio del flujo $\left[\frac{m}{s} \right]$

Las pérdidas de energía en la tubería, como se puede observar en la ecuación 4, dependen proporcionalmente de la longitud de la tubería L. Para el caso de cualquier posición x

- **Simulación**

Es de suma importancia conocer con exactitud el comportamiento hidráulico que mantiene el flujo a lo largo de todo su recorrido por la tubería, con el fin de garantizar la recepción del flujo de un punto a otro en cualquier tramo del conducto.

Para el caso de los acueductos desde el depósito o embalse hasta el usuario final, el flujo se ve afectado por el cambio de fase del fluido debido a una caída de presión en el sistema. Por lo que la simulación dinámica mediante el uso de modelos matemáticos desarrollados en software, es el

método de análisis hidráulico más apropiado debido a que es complicado predecir el comportamiento de un sistema de transporte de fluidos en el cual se tiene diferentes fases fluidas. (Himmelblau, 1997)

El software que nos permitirá alcanzar los objetivos de esta investigación es el HYSYS que nos permitirá ingresar información a través del Hysys Environments para simular cada unidad del proceso de una manera independiente y todo el proceso.

Resultados y discusión

Primer Escenario

Escenario de transportación de agua desde la presa la esperanza hasta la refinería del pacifico, sin distribución de agua para Manta, Jaramijó y Montecristi esto permite determinar el gradiente hidráulico de acueducto.

Teniendo como datos las condiciones normales de operación:

- PL1: tubería de 48 de pulgadas
- Longitud: 93 km
- Presa la esperanza
- Temperatura del agua: 28,02 °C
- Presión de bombeo: 46,67 kg/cm²
- Caudal: 5500 m³/h
- El Refinería del Pacifico
- Presión de llegada 18,55 kg/cm²

Ver gráfico 2

Con la topografía del recorrido de la tubería podemos determinar el Perfil de elevaciones del Acueducto.

Ver gráfico 3

Segundo Escenario

En este escenario se analiza el funcionamiento del acueducto con la distribución de Agua para las Ciudades de Jaramijó, Manta, Montecristi y la Refinería del Pacifico, o sea el funcionamiento del 100% del Acueducto.

Teniendo como resultado lo siguiente:

- Presa la esperanza
- Temperatura del agua: 28,02 °C
- Presión de bombeo: 46,67 kg/cm²
- Caudal: 5500 m³

Jaramijó

- Temperatura del agua: 28,05 °C
- Presión de llegada: 37,05 kg/cm²
- Caudal: 900 m³/h

Manta

- Temperatura del agua: 28,06 °C
- Presión de llegada: 42,55 kg/cm²
- Caudal: 500 m³/h

Montecristi

- Temperatura del agua: 28,06 °C
- Presión de llegada: 35,52 kg/cm²
- Caudal: 600 m³/h

El Aromo

- Temperatura del agua: 28,0 °C
- Presión de llegada: 18,55 kg/cm²
- Caudal: 3500 m³/h

Ver gráfico 4

Gradiente Hidráulico

Como resultado podemos observar el gradiente hidráulico del acueducto en las condiciones de máxima de operación.

Ver Gráfico 5

Perfil de Presiones

Como resultado podemos observar como es el comportamiento de las presiones en la tubería cuando el acueducto funciona al 100%.

Ver Gráfico 6

Conclusión

Podemos concluir que, en las condiciones de funcionamiento entre la Esperanza, la Refinería y la distribución de agua a las ciudades contempladas, el acueducto tiene la presión suficiente para su funcionamiento.

Según como se observa en el segundo escenario las presiones de llegada, a cada uno de los puntos de abastecimiento cuentan con la presión suficiente para la distribución a las ciudades y funcionamiento de la refinería.

En el gradiente hidráulico como se muestra en el tercer escenario observamos que se podría considerar en aumentar las presiones en algún momento de su funcionamiento.

El cuarto escenario que son los perfiles de presiones afirma los resultados del segundo escenario, y garantizan un abastecimiento de agua constante.

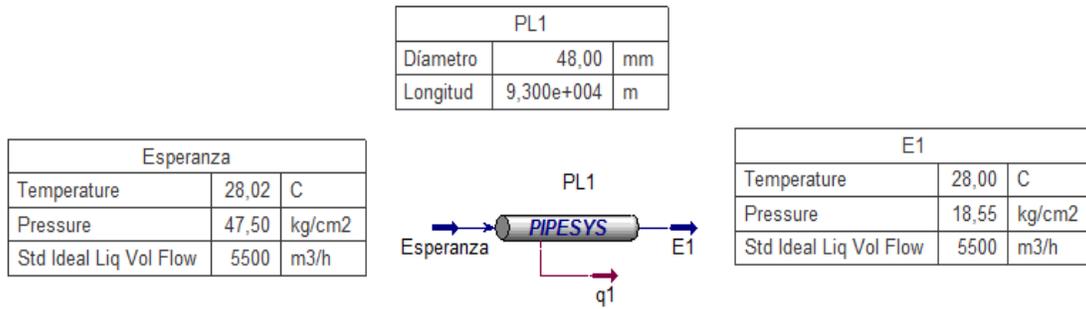
Anexos

Gráfico 1. Recorrido de la tubería desde la presa La Esperanza hasta la Refinería



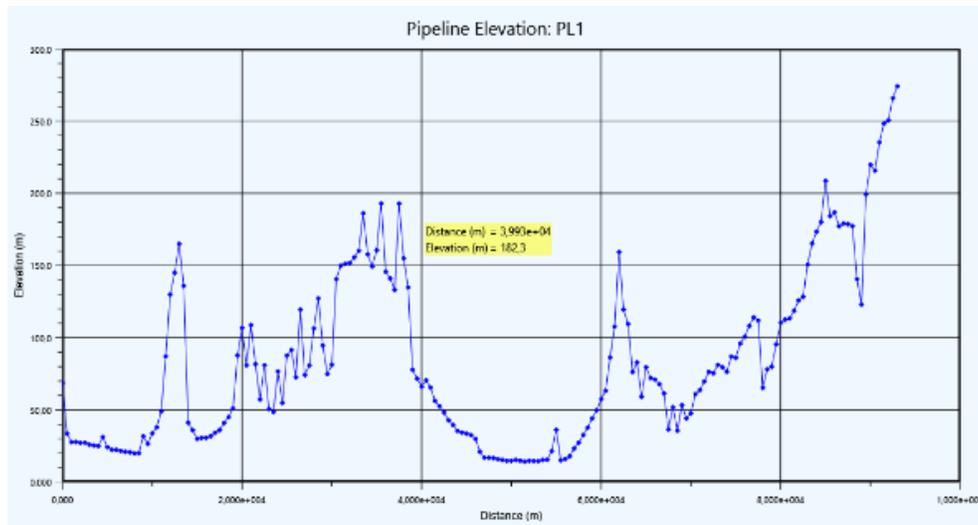
Fuente: Autor, Ecuador, 2017

Gráfico 2. Datos Principales



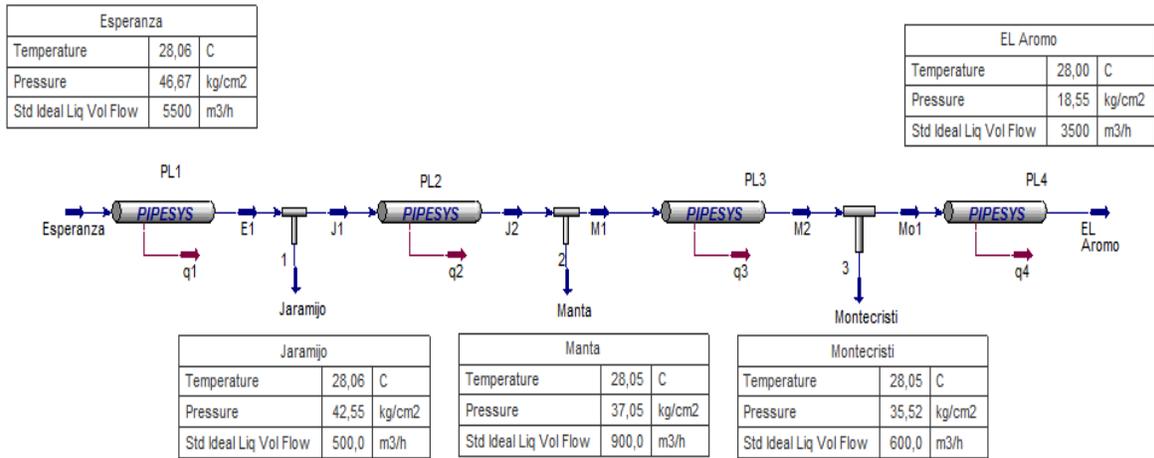
Fuente: Autor, Ecuador, 2017

Gráfico 3. Perfil de elevación



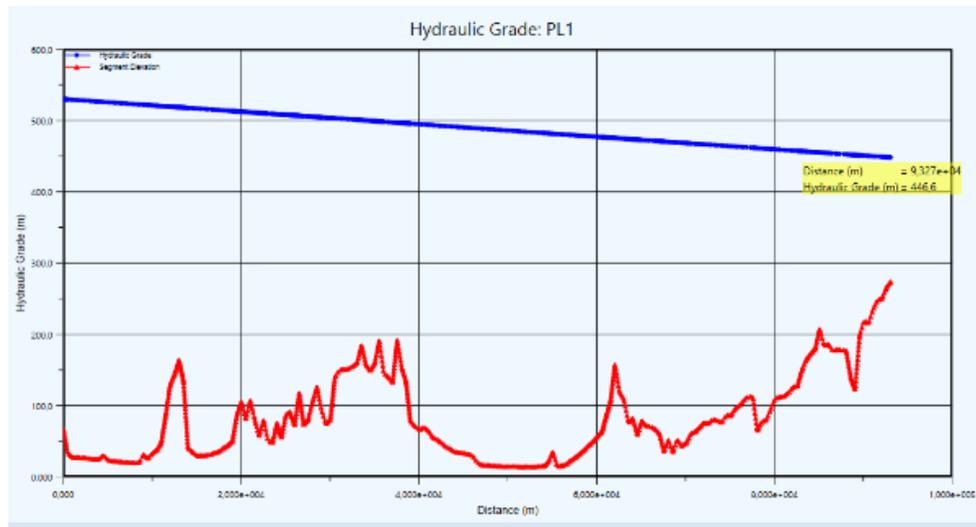
Fuente: Autor, Ecuador, 2017

Gráfico 4. Distribución del Agua al 100%



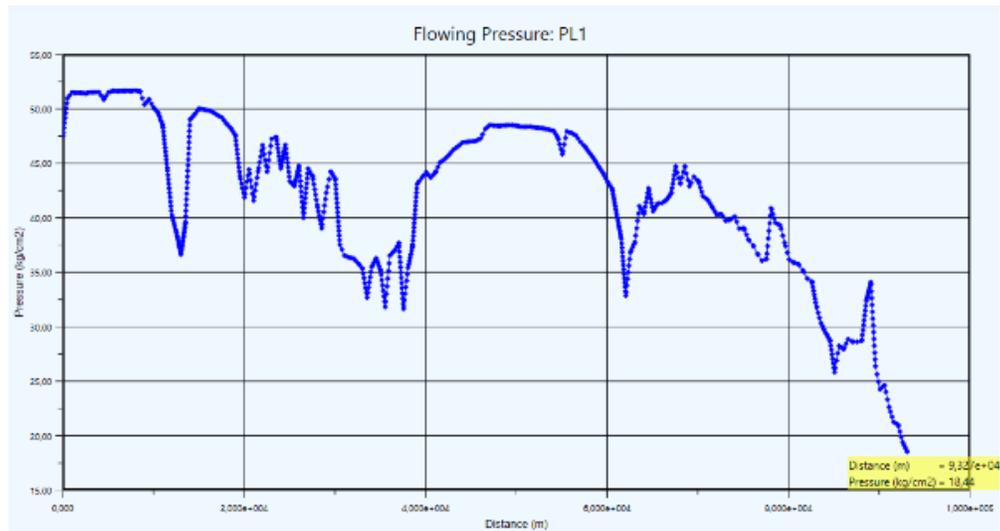
Fuente: Autor, Ecuador, 2017

Gráfico 5. Gradiente Hidráulico



Fuente: Autor, Ecuador, 2017

Gráfico 5. Perfil de Presiones



Fuente: Autor, Ecuador, 2017

Referencias bibliográficas

- Himmelblau, D. M. (1997). Principios Básicos y Cálculos en Ingeniería Química. En D. M. Himmelblau, Principios Básicos y Cálculos en Ingeniería Química (págs. 2-63). New Jersey: Prentice Hall PTR.
- Leon, I. (2004). Apartes de la Historia de los Acueductos. Aguas Latinoamericana, vol. 4, Num. 3, 22-23.
- Mott, R. L. (1996). Mecánica de fluidos aplicada. Mexico: Pearson Educación.
- Netto, A. (2005). MANUAL DE HIDRAULICA. SAU PAULO: EDGAR BLUCHER.
- Perry, R. H. (2008). Perry's Chemical Engineers Handbook. En R. H. Perry, Perry's Chemical Engineers Handbook (págs. 4-56). New York: McGraw-Hill.
- Streeter Victor, L. W. (2000). Mecánica de los fluidos. . Mexico: McGraw Hill.