

Diseño de un sistema de generación de chorro de agua de flujo laminar iluminado

Designing a system to generate water jet illuminated laminar flow

Néstor-A. Ulloa-Auqui, José-Luis Allauca-Palta, Geovanny Novillo-Andrade, Roberto Javier Córdor-Guaranga, Paúl Marcelo-Tacle

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Mecánica. Riobamba, Ecuador

Correo electrónico: nestor.ulloa@esPOCH.edu.ec

Recibido: 22 de junio de 2015 Aceptado: 4 de agosto de 2015

Resumen

Se diseñó y fabricó exitosamente un Sistema de Generación de Chorro de Agua de Flujo Laminar Iluminado, el mismo tiene como finalidad desarrollar destrezas y capacidades en el laboratorio de fluidos cuando se realicen prácticas de variación de caudal para obtener diferentes alturas, alcances y observar como viajan las partículas de agua en un flujo laminar, fenómeno que se produce gracias a la iluminación de todo el chorro con la tecnología de la fibra óptica y un potenciador led RGB. Los resultados obtenidos permiten realizar proyectos en el área de ornamentación que

pueden ser utilizados de manera creativa en parques, hoteles, piscinas y piletas. El estudio inicia con la determinación de las ecuaciones de cantidad de movimiento, balance de energía y movimiento parabólico que sirvieron para el cálculo hidráulico y selección de la bomba de caudal y boquilla del dispositivo.

Palabras clave: flujo laminar, chorro de agua, fibra óptica, boquilla.

Abstract

A system to generate water jet illuminated laminar flow was successfully designed and fabricated, the same aims to develop skills and capabilities in the laboratory practices fluids when flow variation for different heights and ranges are made and watch the water particles traveling in laminar flow, phenomenon which occurs by lighting the whole jet technology with fiber optics and a RGB led enhancer. The results obtained allow perform projects in the area

of ornamentation, the same that can be used creatively in parks, hotels, swimming pools and fountains. The study begins with the determination of the equations of momentum, energy balance and parabolic movement that served to the hydraulic calculation and selection of the pump flow and nozzle device.

Key words: flow, laminar, waterjet, optical fiber, nozzle

Introducción

Reynolds llevó a cabo sus experimentos sobre un flujo de agua a través de tubos de vidrio, los mismos que se montaban horizontalmente con uno de sus extremos en un tanque y una válvula en el extremo opuesto. Una entrada suave en forma de campana se colocaba en el extremo de aguas arriba, con un chorro de tinta puesto de tal forma que se pudiera inyectar una corriente de tinta en cualquier punto al frente de la boca de la campana. Reynolds tomo la velocidad promedio V como la velocidad característica y el diámetro del tubo D como longitud característica de tal manera comprobó si el flujo era laminar o turbulento [1, 2].

En el año del 2010 H. G. Riveros [3], experimenta un método similar al de Reynolds para visualizar flujos laminares y turbulentos que consiste en las perturbaciones en la superficie de un haz o chorro de agua que sale de un tubo cilíndrico. De la misma forma se experimentaron métodos diferentes al de Reynolds, se trata de un método computacional de la dinámica de fluidos en tubos huecos de forma helicoidal en la cual se simulan la trayectoria del flujo, esta investigación tiene como aplicación determinar el factor de fricción el cual disminuye a medida que aumenta la tendencia a la turbulencia [8]

Una vez analizada la revisión bibliográfica se puede deducir que estos métodos son adecuados para visualizar el tipo de flujo ya sea laminar o turbulento, pero tienen sus restricciones, como el alcance, forma y trayectoria del chorro de agua. En este trabajo presentamos un método en el cual obtenemos dichas restricciones, simulando y visualizando una especie de flujo de agua laminar de forma circular constante con alcance variable y trayectoria parabólica. La generación de chorro se consigue mediante hilos de flujo que siguen trayectorias paralelas, que al final son compactados mediante una boquilla antes de su expulsión al medio exterior. El chorro es iluminado para visualizar la trayectoria de las partículas a lo largo de su recorrido.

El conocimiento del hombre de la Hidráulica y Mecánica de fluidos siempre se ha aplicado para resolver problemas prácticos asociados con el transporte, almacenamiento de líquidos, la producción de energía [4, 6], por eso la importancia en la academia de estudiar e investigar acerca de los flujos, mismos que se distinguen entre laminar y turbulento y que son caracterizados por el número de Reynolds, para instalaciones usuales de tuberías el flujo cambiará de laminar a turbulento en el rango de número de Reynolds de 2000 a 4000, (laminar

≤ 2000) y (turbulento > 2000) [1,3,9]. El cálculo del número de Reynolds interviene las variables de densidad, velocidad, viscosidad y diámetro del ducto [10] por lo que se hace difícil asociar un flujo sin tubería, mientras que en la presente investigación se alcanza un flujo laminar y sin la utilización de un ducto o tubería.

Métodos y Materiales

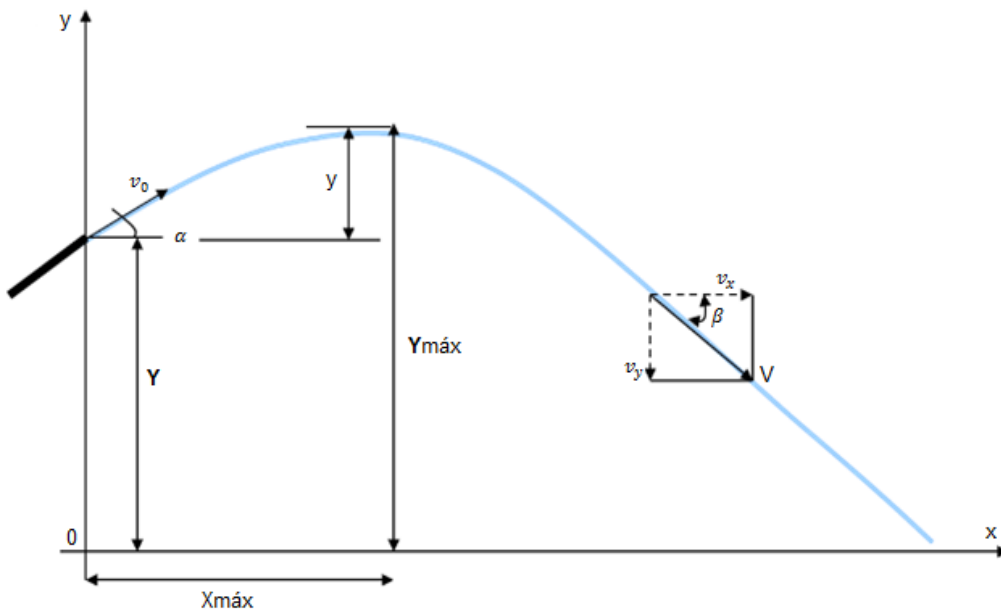
El diseño utilizado para la realización del sistema de generación de chorro de agua de flujo laminar inició con la determinación de todos los componentes generadores de flujo laminar existentes, con el objetivo de crear un chorro de agua que pueda variar sus parámetros en altura, alcance y luminosidad. El estudio inicia con la determinación de las ecuaciones de cantidad de movimiento, balance de energía y movimiento parabólico [5], que sirvieron para el cálculo hidráulico y selección de la bomba de caudal.

Datos requeridos para el funcionamiento del chorro laminar

Para el funcionamiento del equipo se requiere que el chorro tenga un alcance de 2 metros debido a las dimensiones del reservorio, asumiendo que el diámetro de la boquilla sea de 15 milímetros de diámetro, la posición angular del dispositivo que será la de mayor caudal necesario que es de 85° y la ubicación de la boquilla con respecto al nivel del agua que sería aproximadamente de 0,4 metros (ver Fig. 1), teniendo todos estos datos se procede a calcular los parámetros de altura máxima del chorro, la velocidad inicial de salida, la velocidad final con la que llega al extremo máximo de su trayectoria y posteriormente saber cuál es el caudal necesario para poder alcanzar los requerimientos dados.



a) Dispositivo generador de chorro de agua laminar



b) Esquema de posición de parámetros

Fig. 1. Equipo diseñado y esquema

Cálculo de la velocidad inicial del chorro laminar

Para el cálculo de la velocidad inicial v_0 , se utilizará la ecuación 1 que corresponde al estudio del movimiento parabólico [5,7], asumiendo como datos los puntos críticos de la posición del dispositivo en los cuales necesita mayor presión la bomba.

$$v_0 = \frac{x}{\cos \alpha_0} * \sqrt{\frac{g}{2(x \tan \alpha_0 - y)}} \quad (1)$$

Donde y es la posición de la boquilla con respecto al nivel del agua, x es la distancia desde la boquilla hasta el nivel de agua en reposo (alcance), g es la gravedad y α_0 es el ángulo de inclinación de la tobera.

Cálculo de la velocidad final del chorro laminar

Para el cálculo de la velocidad final v_f , se utiliza la ecuación 2 y los siguientes parámetros de funcionamiento del dispositivo.

$$v_f = \sqrt{(v_0 \cos \alpha_0)^2 + (v_0 \sin \alpha_0 + \sqrt{2gy_0})^2} \quad (2)$$

Cálculo de la altura (Y) que alcanza el chorro laminar

Para el cálculo de la altura, se utiliza la ecuación 3, utilizando los parámetros mencionados anteriormente.

$$Y = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha_0}{2g} \quad (3)$$

Cálculo del caudal (Q)

Para calcular el caudal necesario para el funcionamiento del dispositivo es preciso tener en cuenta los parámetros anteriores.

$$Q = v_0 * \left(\frac{\pi}{4}\right) * \left(\frac{d}{1000}\right)^2 \quad (4)$$

Donde d es el diámetro de la boquilla de salida del flujo.

Para que el dispositivo funcione con los parámetros establecidos se necesita una bomba de caudal que bombee 108 l/min y además para la iluminación del chorro el dispositivo generador de flujo laminar necesita un equipo generador de luz y un reservorio, el mismo que permite la recirculación del agua y al funcionar en conjunto se logró el objetivo propuesto.

Dispositivo generador de flujo laminar

Es la primera parte del conjunto, la encargada de transformar el flujo de agua turbulento en laminar y fue construido con materiales de alta resistencia a la corrosión, tales como son el PVC para el cuerpo del dispositivo, el mismo que está destinado para el alojamiento de todos los demás componentes: *aluminio* para las tapas superior e inferior del equipo las mismas que garantizarán la suficiente hermeticidad para que no existan fugas de agua por los extremos; *cobre* para la boquilla o tobera elemento clave del equipo ya que es la encargada de dar la forma y compactar al chorro de agua; y conjunto de mallas de acero inoxidable las cuáles serán las encargadas de la transformación del flujo de agua turbulenta a laminar debido a sus pequeños orificios que obligan al flujo a circular en forma de pequeños hilos paralelos.

El despiece de las partes que conforman el dispositivo laminar jet, se logró utilizando el software de diseño mecánico Solidworks (ver Fig. 2).

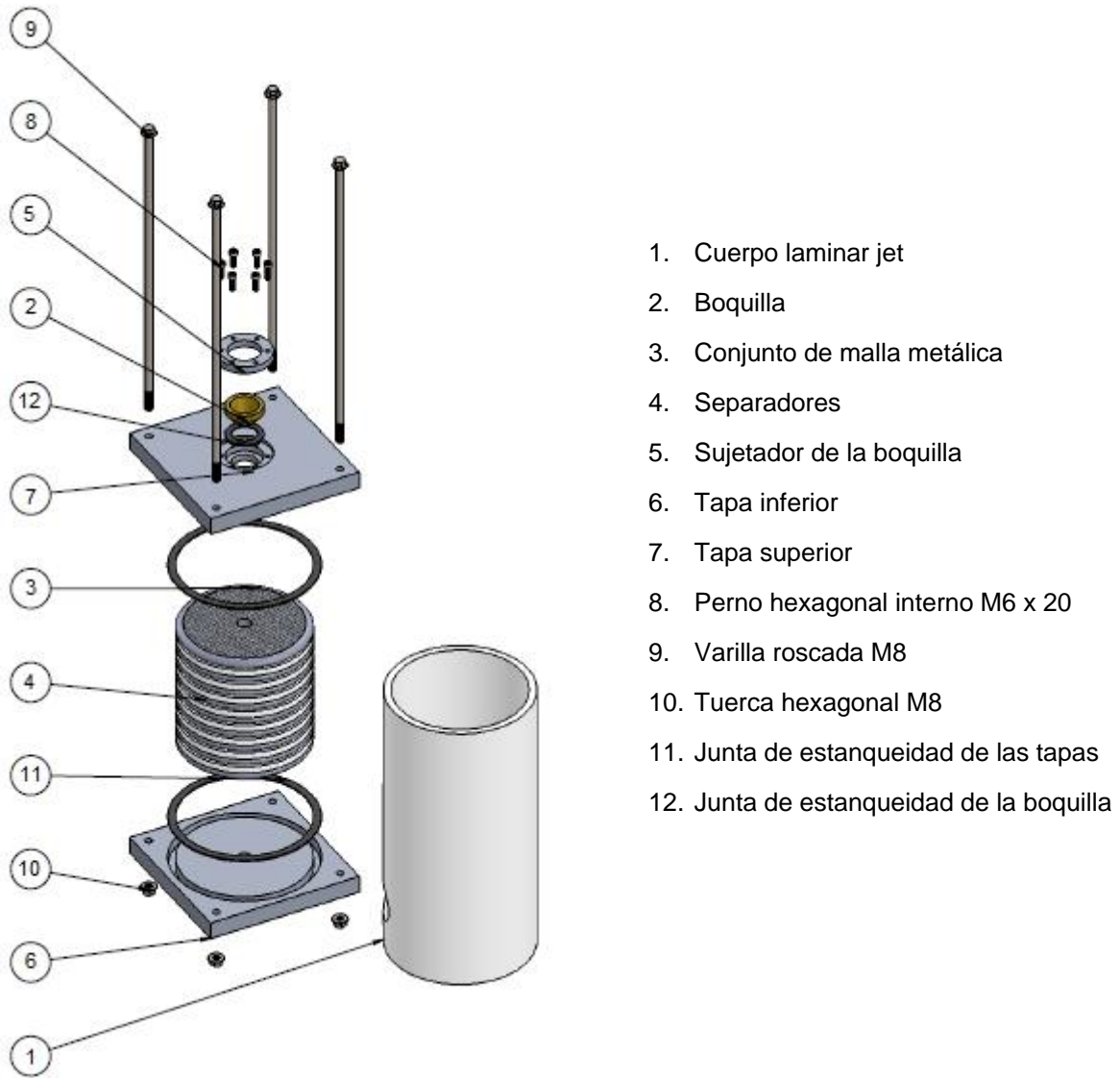


Fig. 2. Despiece del dispositivo de generación de chorro laminar

Equipo generador de luz

Es el encargado de transmitir luz mediante fibra óptica para iluminación desde el led hasta la boquilla del dispositivo generador de flujo laminar (ver Fig. 3). La iluminación se observará en toda la trayectoria del chorro, incluso en la superficie en la cual impacta; esta ilusión se produce debido a que las partículas de agua siguen su dirección en capas paralelas dando la apariencia de ser un tubo de cristal en forma parabólica.



Fig. 3. Equipo generador de luz mediante fibra óptica

Este equipo generador de luz es de alta tecnología, ya que la fibra óptica solo transmite luz y no energía eléctrica, por lo tanto al estar en contacto con el agua no habrá riesgos de una descarga eléctrica.

Reservorio

Es el encargado de almacenar, abastecer y recircular el agua hacia el dispositivo generador de flujo laminar. El agua es impulsada hacia el dispositivo mediante una bomba de caudal, la misma que garantizará la altura y alcance deseado mediante una válvula de compuerta que es manipulada por el usuario para regular el caudal.

Resultados

Simulación de los parámetros

Los resultados se obtuvieron mediante una hoja de cálculo realizada en Excel ([descargar el programa](#)), en la cual se simula la trayectoria del chorro laminar con sus respectivos parámetros. Como se puede apreciar en la hoja de cálculo (ver Fig. 4), que para una posición de 85° del dispositivo se obtuvieron un alcance de 1 m, una altura 3,2 m con una velocidad de salida del chorro de 7,75 m/s y un caudal de 82 L/min.

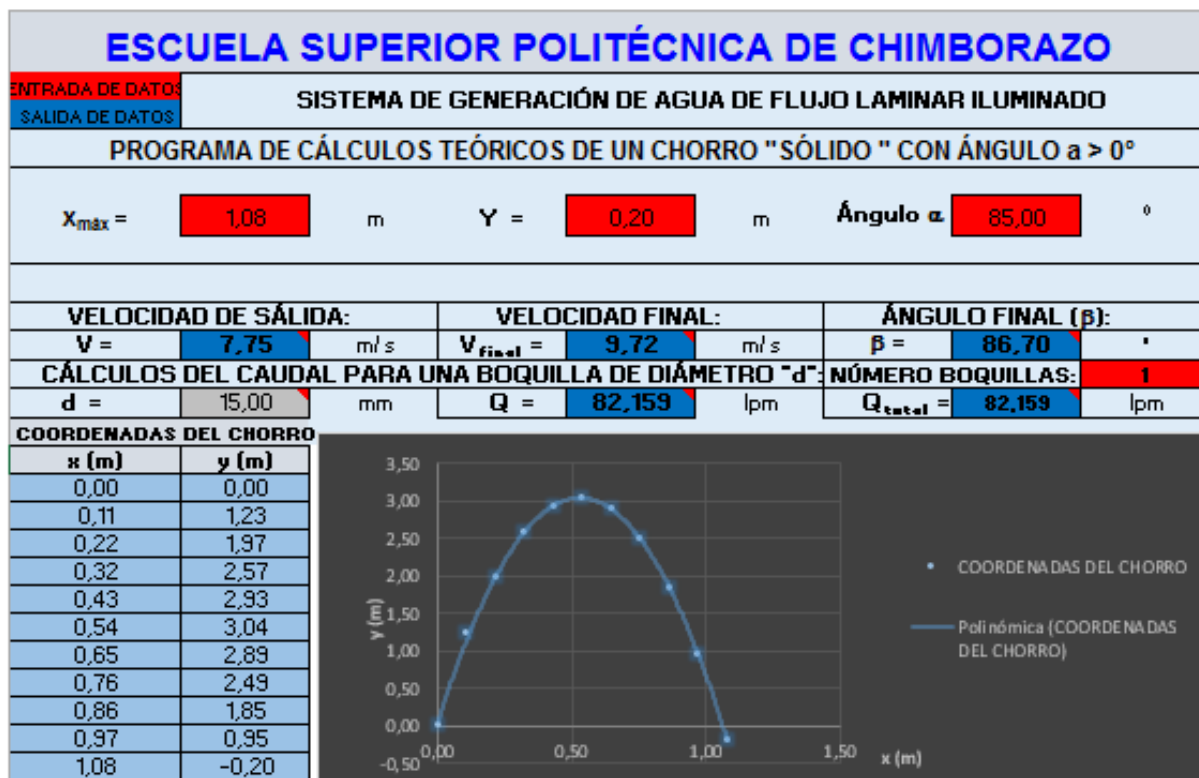


Fig. 4. Hoja de cálculo de los parámetros teóricos de funcionamiento

Se realizó la fase de experimentación para distintas posiciones angulares del dispositivo generador de flujo laminar y se muestran en la tabla 1, obteniendo como resultados que en todas estas posiciones el chorro de agua es de flujo laminar con un diámetro constante en todas su trayectoria desde la salida de la boquilla hasta llegar a la superficie de contacto, que en este caso es el agua (ver Fig. 5).

Tabla 1. Parámetros experimentales de funcionamiento

Denominaciones			Valores Experimentales				Valores Teóricos			Re
simbología	α	ϕ	X	Ymax.	$Q_{exp.}$	v_0	Ymax.	$Q_{Teorico.}$	v_0	
unidades	(°)	(mm)	(m)	(m)	(L/min)	(m/s)	(m)	(L/min)	(m/s)	
	15	15	1,25	0,24	30	2,83	0,25	41,56	3,92	3,7E+04
	30	15	1,5	0,34	30	2,83	0,37	39,44	3,72	3,7E+04
	45	15	1,7	0,48	30	2,83	0,6	40,93	3,86	3,7E+04
	60	15	1,76	0,6	30	2,83	0,9	45,91	4,33	3,7E+04
	75	15	1,68	0,73	30	2,83	1,7	59,91	5,65	3,7E+04
	85	15	1,08	0,98	30	2,83	3,2	82,17	7,75	3,7E+04

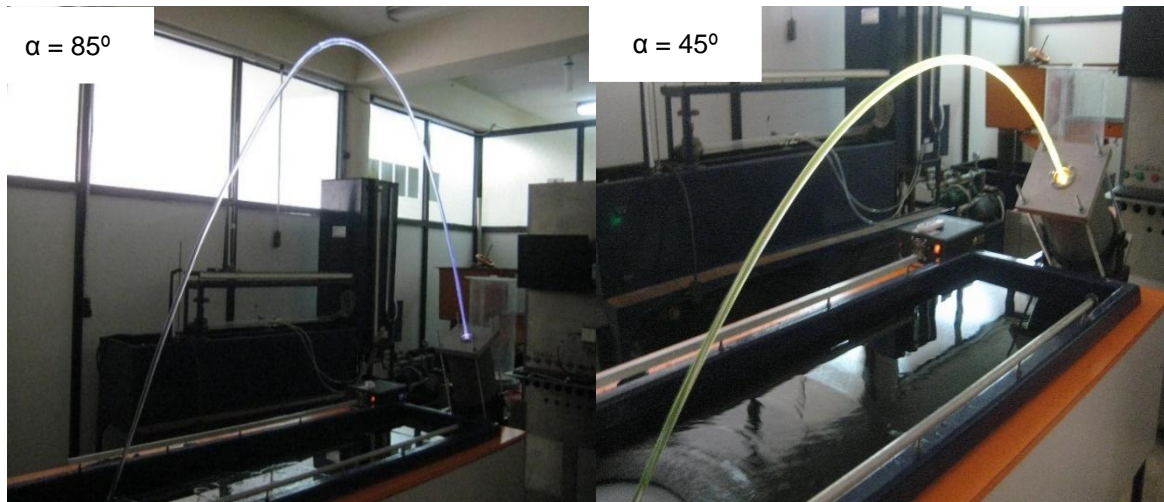


Fig. 5. Chorro laminar

Se puede observar en la figura 5 que el chorro de agua de flujo laminar se mantiene constante de un solo diámetro como si fuera un tubo de cristal en toda su trayectoria sin salpicaduras ni rociado de partículas de agua en el aire. También se puede apreciar que la iluminación de la luz acompaña al chorro hasta el final de su recorrido. Para esta experimentación se ubicó el dispositivo laminar *jet* en una posición de 85° y 45° con respecto a la horizontal con un caudal de agua de 30 l/min se obtuvieron como resultados un alcance de 1,08 m y una altura 0,98 m del chorro de flujo laminar; objetivo que se logró previo a las pruebas necesarias de ajuste.

Estos resultados pueden ser comparados con otros estudios, mencionando que se obtuvo un flujo laminar constante sin usar ningún tipo de ducto en su trayectoria parabólica, cabe recalcar que también se obtuvieron alcances de chorro totalmente diferentes favorable a la investigación.

Las ventajas que se pueden mencionar de este trabajo es que el chorro de agua laminar se dispone para varias posiciones angulares del dispositivo en la cual puede ser estudiada sin perturbar el flujo y una de las más interesantes es la iluminación del chorro, logrando que la luz siga la trayectoria hasta chocar con la superficie de contacto.

Discusión

Fue necesario realizar cálculos para determinar a través del diagrama de Moody que la transición del flujo sobrepasaba los límites permisibles, fenómeno que produce desde la boquilla hasta el punto de impacto del chorro. Este caso es especial ya que el número de Reynolds menores a 2000 sólo se cumple para flujos en tuberías con paredes gruesas y delgadas, en el caso del chorro laminar sin tubería da la ilusión que se tratara de un tubo transparente pero en la realidad no lo es, por lo tanto Reynolds en estas condiciones no cumple debido a que se trata de otro fenómeno.

Es necesario conocer que el dispositivo generador de flujo laminar de este estudio tiene capacidad para mayores alcances y alturas, ya que sólo se experimentó con un caudal de 30 L/min que dio como resultado alcances y alturas pequeñas, debido al poco espacio en laboratorio de Mecánica de Fluidos de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la ESPOCH y también a los límites del reservorio.

Los beneficios de la fibra óptica en este estudio permitieron minimizar los riesgos de descargas eléctricas por lo que de utilizar cables eléctricos en primer lugar no se obtendría la luminosidad para el chorro y se abriría posibilidades de riesgo.

El equipo tiene una limitación de funcionamiento, si este es instalado en lugares donde exista grandes corrientes de aire no tendrá un funcionamiento adecuado debido a que el chorro laminar de agua tendrá perturbaciones y habrá salpicaduras, para lo cual será necesario instalar un dispositivo que mida la velocidad del viento y en conjunto con un sensor, ordenar al equipo para que deje de funcionar.

Conclusiones

De los resultados obtenidos se concluye que este tipo de chorro de agua de flujo laminar no depende del número de Reynolds, ya que el mismo aplica solo para flujos dentro de tuberías sometidos a fricción y es por tal razón que se obtienen parámetros diferentes a los de un flujo laminar de Reynolds ya que se trata de un fenómeno diferente.

Se iluminó el chorro para mejorar la apreciación del recorrido de las partículas durante toda su trayectoria, y así experimentar en forma real la observación de como siguen las pequeñas partículas en forma de hilos paralelos en todo su avance.

De la misma forma los resultados obtenidos al iluminar el chorro de agua laminar, permitirán a futuro plasmar el proyecto con objetivos comerciales desde el punto de vista ornamental.

Referencias

1. Streeter VL. Mecánica de Fluidos. 9na ed. Bogotá, Colombia: McGraw Hill; 1970. ISBN 978-600-987-4.
2. Çengel Yunus Aİ, Cimbala JM. Mecánica de fluidos: fundamentos y aplicaciones. México DF, México: McGraw Hill/Interamericana de México; 2012. ISBN 9789701056127.
3. Riveros HG, Riveros Rosas D. Laminar and turbulent flow in water. *Physics Education*. 2010;45(3):288-94. ISSN 0031-9120. DOI 10.1088/0031-9120/45/3/010.
4. Miguel AF. Dendritic structures for fluid flow: Laminar, turbulent and constructal design. *J Fluids Struct*. 2010;26(2):330-5. ISSN 0889-9746.
5. Young Hugh D, Roger A F. Física Universitaria Volumen 1. México DE, México: Pearson Educación; 2009. ISBN 978-607-442-288-7.
6. Gray DD. A First Course in Fluid Mechanics for Civil Engineers. 3ra ed. USA: Water Resources Pubns; 2010. ISBN 978-1887201117.
7. Asuquo Essien E, Enobong E, Joshua and Paul J U. Two Dimensional Laminar Flow of a Liquid with Circular Hydraulic Jump. *Modern Applied Science*. 2011;5(3):56-67. ISSN 1913-1852. DOI 10.5539/mas.v5n3p56.
8. Ahmadloo E, Sobhanifar N, Hosseini FS. Computational Fluid Dynamics Study on Water Flow in a Hollow Helical Pipe. *Open Journal of Fluid Dynamics*. 2014;4:133-9. ISSN 2165-3860.
9. Krowka J, Rat V, Coudert JF. Investigation and control of dc arc jet instabilities to obtain a self-sustained pulsed laminar arc jet. *Journal of Physics D: Applied Physics*. 2013;46:206-12. ISSN 0022-3727. DOI 10.1088/0022-3727/46/50/505206.
10. Yong Chae J, Bharat B. Biomimetic structures for fluid drag reduction in laminar and turbulent flows. *Journal of Physics: Condensed Matter*. 2010;22:104-12. ISSN 0953-8984. DOI 10.1088/0953-8984/22/3/035104.