

ANÁLISIS HIDRODINÁMICO DE DISTRIBUIDORES DE FLUJO BASADOS EN LA LEY CONSTRUCTAL

Nava Arriaga Erick Martín (1), Hernández Guerrero Abel (2)

1 [Licenciatura en Ingeniería Mecánica | Dirección de correo electrónico: erick_martin_nava_arriaga@hotmail.com]

2 [Departamento de Ingeniería Mecánica, División de Ingenierías Campus Irapuato - Salamanca, Universidad de Guanajuato | Dirección de correo electrónico: abel@ugto.mx]

Resumen

En este trabajo se presenta el análisis numérico fluido-dinámico de dos distribuidores de flujo. Las geometrías de los distribuidores se basaron en la ley constructal desarrollada por Adrian Bejan. Se analizan dos distribuciones, una basada en la razón del número dorado y otra basada en una razón alométrica. El propósito de este análisis se basa principalmente en el análisis hidrodinámico de dichos distribuidores de flujo. Se analiza el perfil de velocidad en un plano central del distribuidor, así como el análisis de caídas de presión y distribución de magnitud de velocidades de salida. El diámetro de entrada del distribuidor es de 12.7 mm y una longitud vertical inicial de la entrada del flujo de 20 mm; a partir de estas dimensiones se aplican los dos números mencionados para continuar armando el distribuidor. El fluido de trabajo es agua, con una velocidad de entrada de 0.08 m/s. Se halló que el distribuidor de flujo creado por la razón alométrica tiene mucho menor caída de presión que el de la razón del número dorado, pero teniendo una mejor distribución de flujo en éste último.

Abstract

A fluid-dynamic numerical analysis of two flow distributors is presented in this work. The geometries from the distributors are based on the constructal law developed by Adrian Bejan. Two distributions are analyzed, one based on the ratio provided by the golden number, and the other based on an allometric ratio. The purpose for this analysis is based mainly on the hydrodynamic analysis from the flow distributors mentioned before. The speed profile is analyzed from a central level from the distributor, pressure drop and the out magnitude of speed distribution analysis are obtained too. The entry diameter from the distributor is 12.7 mm and an initial vertical length of 20 mm of the flow entry; starting from these dimensions, the two ratios mentioned earlier serve as the basis to develop the next branches for the distributor. The working fluid is water, with an entry speed of 0.08 m/s. It was found that the flow distributor based on the allometric law number led to a smaller pressure drop compared to the one based on the golden number; however, nevertheless the distributor based on the golden number provides a better flow distribution.

Palabras Clave

Mecánica; Fluidos; Presión; Velocidad; Distribución

INTRODUCCIÓN

Ley Constructal aplicada a la mecánica de fluidos

Un punto de partida para discutir el tema de la ley constructal se basa en el hecho del comportamiento único de la naturaleza misma y todo aquello que en un principio no tiene una explicación del porqué es así. Ya sean las ramificaciones de los árboles, los relámpagos en una tormenta eléctrica, los bronquios de los pulmones, e incluso las grietas de los temblores siguen una estructura muy similar en su forma de ramificación, también llamada bifurcación [1,2]. Adrián Bejan desarrolló esta ley constructal en el año de 1996, la cual sigue en uso y desarrollo [3]. La aplicación de la bifurcación de la teoría constructal en canales de flujo para disipadores de calor ha mostrado resultados favorables para obtener menores caídas de presión y valores aceptables de transferencia de calor [4,5,6].

Carlos Rubio et al. [6] utilizaron de una forma muy similar a los números Φ (ϕ) [7] y $Dseta$ (ζ) para su trabajo sobre microcanales constructales de refrigeración líquida para dispositivos electrónicos, donde usaron como referencia la bifurcación de la nerviación de las hojas de los árboles. La idea de que se utilicen las configuraciones de la bifurcación de las plantas para la mecánica de fluidos, específicamente para los canales de flujo, es debido a que la naturaleza misma adopta esa configuración debido a que tiene un equilibrio y una eficiencia considerablemente buena para la distribución de nutrientes a través de las hojas en general.

En este trabajo se usa la teoría de la ley constructal para la construcción de un distribuidor de flujo, con posible aplicación posterior para disipadores de calor potentes.

Se hace un análisis hidrodinámico para observar caídas de presión, perfiles de distribución de velocidad y magnitud de flujos máxicos a la salida.

MATERIALES Y MÉTODOS

Como se mencionó anteriormente, este trabajo presenta un análisis numérico del fenómeno, para otros trabajos posteriores se planea llevarlo a un análisis experimental. El material que se ocupó para la simulación de los distribuidores fue indistinto, debido a que no se consideró ningún efecto que éste pueda proporcionar, como por ejemplo su conductividad térmica, si se hubiera hecho un análisis de transferencia de calor, o rugosidad, si se hubiera hecho un análisis que involucre fuerzas de fricción en el interior de los conductos. Así pues, el material que se utilizó fue el aluminio, que viene por defecto en el software computacional usado, pero como se mencionó anteriormente, este material no tuvo relevancia alguna para el análisis que se hizo. Por otro lado, dicho software comercial proporciona la opción de usar diversos tipos de métodos numéricos para la solución de nuestro problema, así como el método de elementos finitos, volúmenes finitos, entre otros, por lo que se utilizó uno que de igual manera viene por defecto, que involucra un esquema *SIMPLE*, la discretización espacial involucra un método de "Least Squares Cell-Based", con Segundo Orden para Presión y Momentum.

El problema consiste en el análisis numérico de fluido-dinámica computacional de dos distribuidores de flujo basados en la ley constructal que desarrolló Adrian Bejan.

Uno de los aspectos que menciona la ley constructal es sobre la bifurcación y distribución de canales de flujo que se presentan en la misma naturaleza, por lo que se utilizó la proporción de bifurcación de 2^3 , es decir, se producen al final ocho salidas de flujo completamente simétricas.

Para el primer caso, el cual su geometría se basó en el número dorado (también llamado número "Phi, ϕ ", entre otros nombres más), tiene un valor de aproximadamente 1.61803... Para el segundo caso, la geometría se basó en un número de la ley alométrica, ζ , el cual es de $2^{1/3}$, que es aproximadamente 1.25992...[1].

El diámetro inicial de entrada de cada uno de los distribuidores y la longitud vertical inicial de entrada de los mismos, son valores de diseño, es decir, son valores dados de los cuales a partir de estos y de los números Phi y Dseta, se obtendrán

las dimensiones de los demás diámetros y longitudes verticales de la bifurcación de la siguiente manera:

$$\varphi, \zeta = \frac{L_{V,i}}{L_{V,i+1}} = \frac{D_i}{D_{i+1}}$$

donde los subíndices i e $i+1$ significan que se trata de la longitud o diámetro actual, y el siguiente trata de la longitud o diámetro posterior, respectivamente. Las Tablas 1 y 2 muestran la relación mostrada y el valor de los diámetros y longitudes de las bifurcaciones, respectivamente.

Tabla 1: Dimensiones de los diámetros de las geometrías en base a los números Phi y Dseta.

$\varphi, \zeta = \frac{D_i}{D_{i+1}}$	$\varphi = 1.618$	$\zeta = 1.259$
D_1 [mm]	12.7	12.7
D_2 [mm]	7.8490	10.0799
D_3 [mm]	4.8509	8.0005
D_4 [mm]	2.9980	6.3499

Tabla 2: Dimensiones de las longitudes verticales de las geometrías en base a los números Phi y Dseta.

$\varphi, \zeta = \frac{L_{V,i}}{L_{V,i+1}}$	$\varphi = 1.618$	$\zeta = 1.259$
$L_{V,1}$ [mm]	20	20
$L_{V,2}$ [mm]	12.3606	15.8740
$L_{V,3}$ [mm]	7.6393	12.5992
$L_{V,4}$ [mm]	4.7213	9.9999

La Imagen 1 muestra de forma representativa y esquemática las dimensiones especificadas previamente en las Tablas 1 y 2, las cuales fueron los parámetros de diseño en base a los números Phi y Dseta.

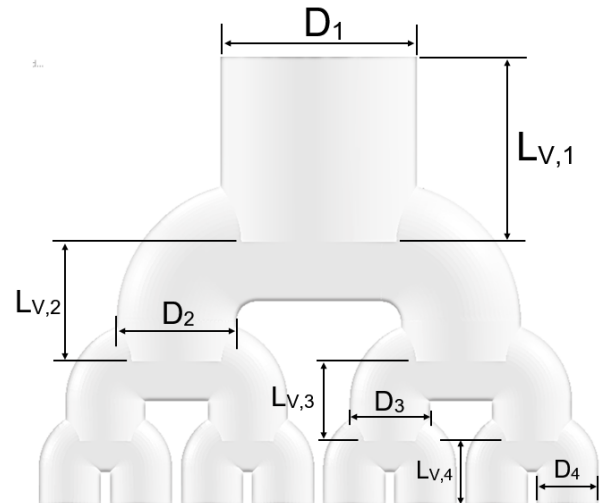


IMAGEN 1: Cotas de las dimensiones de los parámetros de diseño.

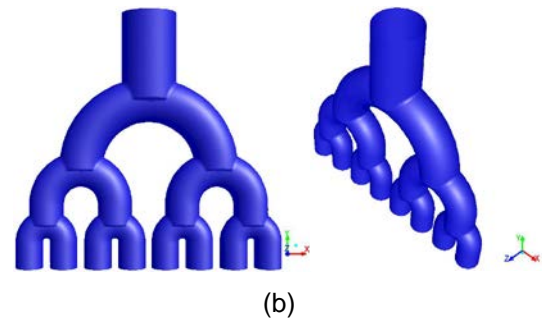
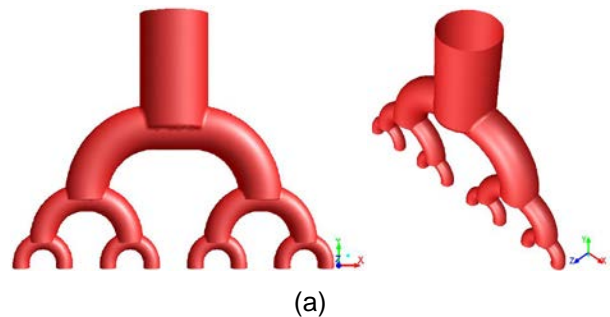
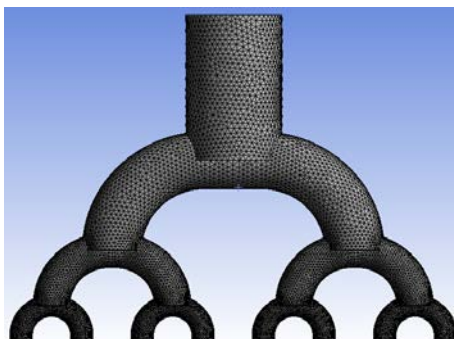


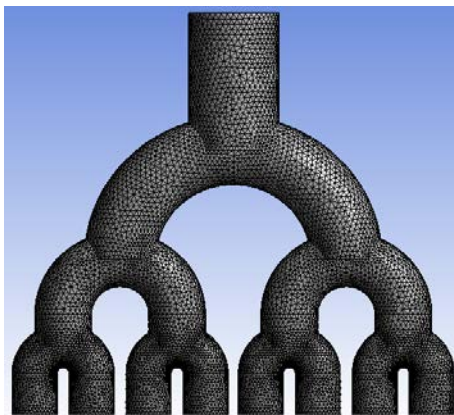
IMAGEN 2: Vistas de las geometrías creadas bajo los números Phi (a) y Dseta (b), respectivamente.

La Imagen 2 (a) muestra al distribuidor de flujo construido en base al número Phi, y por consiguiente la Imagen 2 (b) muestra al segundo distribuidor de flujo construido en base al número Dseta de la ley alométrica (vista de frente e isométrica para ambos casos).

Una vez definidas las geometrías a analizar en un código computacional especializado, el paso siguiente a realizar fue hacer un mallado adecuado para la solución de las mismas. La Imagen 3 muestra de forma gráfica el mallado que se obtuvo para las dos geometrías.



(a)



(b)

IMAGEN 3: Vistas de las geometrías creadas bajo los números Phi (a) y Dseta (b), respectivamente.

Para el mallado de cada una de las geometrías se utilizó la herramienta de mallado automático que el mismo software tiene. Se escogieron todas aquellas opciones que involucraban tener mallas finas con elementos triangulares, lo más uniformes

posibles. Se obtuvo un total de 67149 nodos y 345445 elementos para la malla de la geometría de la imagen 3 (a), 89085 nodos y 473159 elementos para la malla de la geometría de la imagen 3 (b).

Posteriormente, al tener la malla hecha para cada uno de los casos, se cargaron en un software matemático para la solución de las mismas.

El fluido de trabajo fue agua, el cual entró a temperatura ambiente a una velocidad de aproximadamente 0.08 m/s, que es aproximadamente 0.6 litros/min, tomando en cuenta que el diámetro de la entrada es de 12.7 mm.

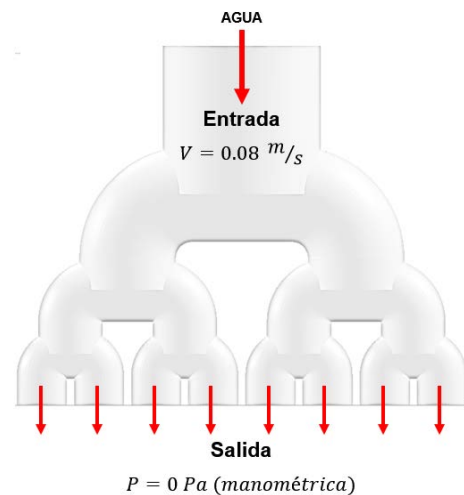


IMAGEN 4: Condiciones de entrada y salida de flujo.

La Imagen 4 muestra un esquema simple de las condiciones con las que se simuló el problema. A su vez, también se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones físicas:

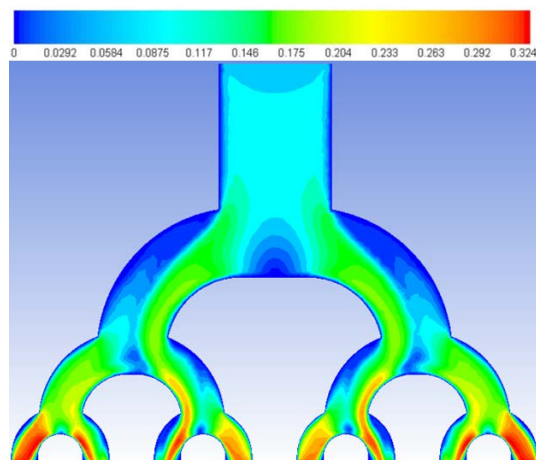
1. Fluido incompresible.
2. Se llega a condiciones de estado estable de flujo.
3. Consideración del efecto de la gravedad en sentido del flujo de entrada.
4. Efectos relacionados con ecuaciones de energía despreciables.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

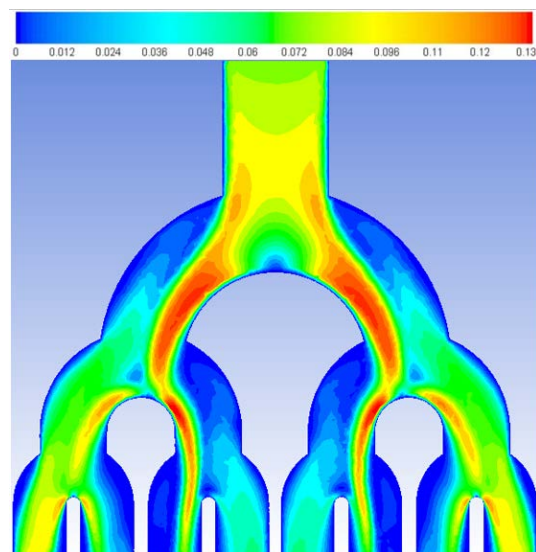
La caída de presión para el caso del distribuidor de flujo construido por el número Phi fue mucho mayor que la del otro distribuidor, con una diferencia de 50.4587 Pascales. La Tabla 3 muestra de forma muy específica los valores de caída de presión de cada uno de los distribuidores, la magnitud de velocidad con los cuales el flujo sale de cada conducto final, y a su vez, el flujo másico. La Imagen 4 muestra un perfil de velocidad en un plano central del distribuidor, el cual indica de forma muy clara que los resultados de flujos másicos hacen sentido.

Tabla 3: Valores de caída de presión, velocidad y flujo másico de cada uno de los distribuidores de flujo.

	Velocidad [m/s] φ	Flujo másico [kg/s] φ	Velocidad [m/s] ζ	Flujo másico [kg/s] ζ
Entrada	0.0789	0.0099	0.0789	0.0099
Salida1	0.2090	0.0014	0.0556	0.0017
Salida2	0.1801	0.0012	0.0390	0.0012
Salida3	0.1718	0.0011	0.0360	0.0011
Salida4	0.1836	0.0012	0.0293	0.0009
Salida5	0.1840	0.0012	0.0300	0.0009
Salida6	0.1718	0.0011	0.0354	0.0011
Salida7	0.1813	0.0012	0.0395	0.0012
Salida8	0.2104	0.0014	0.0560	0.0017
Caída de presión [Pa] φ	56.23587			
Caída de presión [Pa] ζ	5.77715			



(a)



(b)

IMAGEN 5: Perfil de velocidad de un plano central del distribuidor de flujo.

La Imagen 5 muestra la distribución del flujo para cada uno de los distribuidores. La imagen 5 (a) es para el distribuidor Phi y la imagen 5 (b) es para el distribuidor Dseta; lo que indica que para la imagen 5 (a) se tiene una mejor distribución a lo largo de todos los conductos y en la salida que para la imagen 5 (b), donde se puede apreciar que en los conductos finales centrales incluso no hay flujo en ciertas zonas.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos, bajo las consideraciones establecidas, muestran que el distribuidor construido bajo el número Dseta, ofrece una caída de presión mucho más baja que la otra geometría; pero es muy importante la uniformidad de flujo de salida, por lo que el distribuidor de flujo construido por el número dorado, Phi, proporciona resultados más favorables a este aspecto; esto se ve en la imagen que muestra el perfil de velocidad en un plano central de la geometría y también se aprecia en los resultados de los flujos máxicos; se aprecia que hay más flujo en los conductos de salida de los extremos que en los centrales. Así pues, si se quiere decidir en usar un distribuidor u otro, es mejor usar aquel que produjo menor caída de presión a pesar de su no tan mala uniformidad de flujo de salida, es decir, varía muy poco esto último para ambos distribuidores.

El análisis hecho en este trabajo tiene mucho más que desarrollar, debido a que simplemente se realizó un análisis para una sola magnitud de velocidad de entrada, un sólo valor de diámetro de entrada y longitud vertical; todos estos parámetros son importantes analizar para hallar valores óptimos para cierta aplicación específica. Así pues, también el hacer un análisis experimental lleva a desarrollar una validación de nuestros resultados que se obtengan.

AGRADECIMIENTOS

Esta es mi segunda participación en los Veranos de Investigación de la Universidad de Guanajuato, a lo cual se agradece infinitivamente a Dios, a la misma vida, a todas aquellas personas que han estado apoyándome en todo momento para mi formación académica como futuro ingeniero mecánico y en general como persona. A mi familia, padres, hermanos y personas muy cercanas a mí, amigos, compañeros de trabajos del grupo encabezado por el Dr. Abel Hernández Guerrero, y de igual forma al Dr. Abel por ser mi asesor para esta ocasión. Gracias a todas las personas mencionadas, se ha llegado hasta donde se está ahora.

REFERENCIAS

- [1] Bejan, A. & Lorente, S. (2008). Tree Networks for Fluid Flow. "Design with Constructal Law": 2008-2015 (pp. 111-162). John Wiley & Sons.
- [2] Videos "Through the Wormhole – Did God Create Evolution? – Constructal theory" y "Adrian Bejan, Constructal Law & Design in Nature, ASME, 14 Nov. 2011", Fecha y Hora de consulta: 15 de junio a las 16:34 hrs. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=GMYr-H70VYo> y <https://www.youtube.com/watch?v=WqoKDjFMb-w>, respectivamente.
- [3] Duke University, Mechanical Engineering & Materials Science, Fecha y Hora de consulta: 16 de junio a las 12:25 hrs. Recuperado de <http://mems.duke.edu/bejan-constructal-theory>
- [4] Liu, H., Li, P., Van Lew, J. (2010). CFD study of distribution uniformity in fuel distributirs having multiple structural bifurcations of flow channels. Journal of ScienceDirect.
- [5] Ramos-Alvarado, B., Li, P., Liu, H., Hernandez-Guerrero, A. (2011). CFD study of liquid-cooled heat sinks with microchannel flow field configurations for electronics, fuel cells, and concentrated solar cells. Journal of Thermal Engineering.
- [6] Rubio-Jimenez, C. A., Hernandez-Guerrero, A., Lorenzini-Gutierrez, D., Cervantes, J. & Gonzalez-Valle, U. (2015). CFD study of constructal microchannel networks for liquid-cooling of electronic devices. Journal of Thermal Engineering.
- [7] Langarita, I., "El número de oro", Fecha y Hora de consulta: 15 de junio a las 17:40 hrs. Recuperado de <http://rt000z8y.eresmas.net/EI%20numero%20de%20oro.htm>