

Simulación numérica de la eficiencia en los alabes de un ventilador centrífugo curvados hacia atrás

Numerical simulation of the efficiency of backward curved centrifugal fan blades

Simulação numérica da eficiência de pás centrífugas curvadas para trás

Alegre Rosales, Maribel Yesenia¹

<https://orcid.org/0000-0002-8161-2249>

Chauca Siccha, Katia Isabel²

<https://orcid.org/0000-0002-2684-5090>

Recibido: 20.03.2023

Aceptado: 16.05.2023

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene por objetivo la evaluación de los parámetros característicos de un ventilador centrífugo con álabes hacia atrás; para ello, se utilizó el ventilador centrífugo del laboratorio de turbomáquinas de la Universidad Nacional de Santa. Para el modelamiento del ventilador se hizo uso del software Solidwork Flow Simulation 2018, donde previamente se colocaron las condiciones de ingreso como resultado obtuvimos parámetros de presión, potencia y eficiencia. Este proceso fue de larga duración, 5 horas aproximadamente, porque se tuvo que realizar varios ensayos, en los cuales se establecen el número de nodos y estos deben llegar a parámetros estables. Concluyendo que, a medida como se va estrangulando la válvula de salida del ventilador, los parámetros van disminuyendo encontrándose la mayor presión y potencia en la configuración al 100% de velocidad del ventilador en las evaluación numérica; en cuanto a la eficiencia, también se observa la tendencia a disminuir cuando se estrangula la válvula; sin embargo, a comparación de los otros parámetros la mayor eficiencia lo encontramos en la configuración al 40% de velocidad del ventilador para las evaluaciones numérica fue de 91.4%.

Palabras clave: Ventilador centrífugo, eficiencia del ventilador, simulación numérica.

ABSTRACT

The present research work aims to evaluate the characteristic parameters of a centrifugal fan with backward blades, for which the centrifugal fan of the turbomachinery laboratory of the National University of Santa was used. For the modeling of the fan, the Solidwork Flow Simulation 2018 software was used, where the entry conditions were previously set as a result, we obtained pressure, power and efficiency parameters. This process was of long duration, approximately 5 hours, since several tests had to be carried out, in which the number of nodes are established and these must reach stable parameters. Concluding that, as the fan outlet valve is throttled, the parameters are decreasing, finding the highest pressure and power in the configuration at 100% fan speed in the numerical evaluation; Regarding efficiency, the tendency to decrease when the valve is throttled is also observed, but compared to the other parameters, the highest efficiency was found in the configuration at 40% fan speed for the numerical evaluations was 91.4%.

Key words: Centrifugal fan, fan efficiency, numerical simulation.

RESUMO

O presente trabalho de pesquisa tem como objetivo avaliar os parâmetros característicos de um ventilador centrífugo com pás reversas, para o qual foi utilizado o ventilador centrífugo do laboratório de turbomáquinas da Universidade Nacional de Santa. Para a modelagem do ventilador, foi utilizado o software Solidwork Flow Simulation 2018, onde as condições de entrada foram previamente definidas como resultado, foram obtidos os parâmetros de pressão, potência e eficiência. Este processo foi de longa duração, cerca de 5 horas, uma vez que tiveram que ser realizados vários testes, nos quais o número de nós é estabelecido e estes devem atingir parâmetros estáveis. Concluindo que, à medida que a válvula de saída do ventilador é estrangulada, os parâmetros vão diminuindo, encontrando na avaliação numérica a maior pressão e potência na configuração a 100% da velocidade

¹ Cotinavec Montaje Perú S.A.C. Lima. Perú. Ingeniero. maribelalegre2007.31@gmail.com

² Pesquera Centinela S.A. Chimbote. Perú. Ingeniero. katiacs4287@gmail.com

do ventilador. Em relação à eficiência, também se observa a tendência de diminuição quando a válvula é estrangulada, mas comparada aos demais parâmetros, a maior eficiência encontrada na configuração a 40% da velocidade do ventilador para as avaliações numéricas foi de 91,4%.

Palavras-chave: Ventilador centrífugo, eficiência do ventilador, simulação numérica.

Introducción

En la actualidad, las empresas extranjeras están por encima de nosotros en cuanto a tecnología y fabricación. Existen entidades que construyen ventiladores basándose en modelos extranjeros y por esa razón se dan los problemas de funcionamiento, considerando que no todas las aplicaciones son iguales, y los requerimientos en los diferentes procesos pueden variar, lo cual permite conocer los parámetros de diseño de ventiladores (Seminario, 2012). Al considerar que las aplicaciones de los ventiladores no son iguales se tiene en cuenta la realización de estudios para comprobar su comportamiento. Se realizan ensayos prácticos de laboratorio para contrastar los resultados teóricos con la práctica considerando que será para la mejora del rendimiento académico (Mora, 2013).

Prete, Y. (2019) determino la configuración geométrica y características técnicas de un ventilador centrífugo para el secado de pellets de plástico reciclado y como resultado se logra que el ventilador centrífugo fue sometido a las cargas distribuyéndolas y utilizando como material acero inoxidable AISI 304 y estableciendo las cargas en el rodete del ventilador centrífugo sometido a una carga de torsión de 74 Nm, como también se realizó la simulación del eje del motor eléctrico; para ello, se consideraron para esta simulación 2 apoyos de chumaceras el diámetro del eje del motor eléctrico es de (1.5 pulgadas), soportando una carga del rodete de (70kgf). Del estudio de análisis de elementos finitos en SolidWorks se obtuvo un factor de seguridad de (rodete: 3.9) y (eje: 5), el autor concluye que: para el análisis de elementos finitos se utilizó el diseño del ventilador acero inoxidable 304, lo que permitió diseñar adecuadamente la unión entre el rodete y la carcasa además de brindar una opción muy versátil para acercar las solicitaciones de carga a la realidad manteniendo al mismo tiempo un adecuado factor de seguridad (rodete 3.9). Asimismo, Vecina et al. (2017) y Molina, et al., (2016), realizaron un estudio numérico y experimental sobre el desempeño aerodinámico de ventiladores centrífugos con los álabes hacia atrás, estableció las condiciones de contorno (tipo de fluido, temperatura, rotación, etc.), luego de realizada la parte numérica se pasó a realizar la metodología experimental, la misma que consiste en fabricar el ventilador diseñado y realizar las debidas mediciones para así poder comparar los resultados. Los resultados demuestran una concordancia entre los resultados simulados y experimentales, la diferencia entre caudales es de apenas 4% y la potencia es del 18%. En el comparativo de los resultados se puede concluir que la diferencia del 4% en el caudal está dentro del margen de error del equipamiento para realizar las mediciones experimentales; en el caso de la diferencia del 18% en la potencia consumida.

La principal problemática de esta investigación se refleja en la pregunta: ¿En qué medida los parámetros característicos como caudal, presión total, potencia de descarga y eficiencia pueden ser evaluados numérica y experimentalmente en un ventilador centrífugo del laboratorio de Turbomáquinas – UNS? Además, los objetivos específicos planteados son: determinar experimentalmente los parámetros característicos en el ventilador centrífugo, realizar el modelamiento numérico de los parámetros característicos del ventilador centrífugo y comparar los parámetros característicos numéricos y experimentales del ventilador centrífugo.

El ventilador es aparato giratorio que tiene por misión crear una corriente de aire o bien un flujo forzado en un conducto. Está constituido por una serie de palas con formas y disposiciones diversas según que el flujo sea axial (ventilador de hélice) o radial (ventilador centrífugo). El primer tipo se emplea normalmente cuando se requieren grandes caudales y presiones bajas, como en el caso de una instalación de refrigeración. El segundo se usa para caudales menores y, a veces, en las instalaciones de climatización. (Motorgiga, 2020). El rendimiento estático de los ventiladores centrífugos de álabes curvados hacia atrás es hasta el 90 %. Dependiendo del tipo de aplicación, estos álabes pueden ser rectos, curvos o de perfil aerodinámico. Los rodets diseñados con álabes curvados hacia atrás tienen muy buen rendimiento y son apropiados para la mayoría de aplicaciones, porque consiguen una muy buena aerodinámica generando muy poco ruido. Este es el tipo de diseño adecuado cuando el ventilador vehicula gases limpios o con pocas trazas de polvo (Gruber, 2018).

El rodete con álabes curvados hacia atrás son de alto rendimiento y auto limitador de potencia al poseer una curva de potencia creciente, luego decreciente conforme aumente el caudal. La presión aumenta desde la descarga libre hasta el punto de caudal cero. La potencia es autolimitante, aumentando hasta un máximo cuando el caudal aumenta, también decrece para un nuevo aumento de caudal. La eficiencia es máxima para una máxima potencia y el ruido es mínimo para este punto (Vargas, 2013).

El modelamiento matemático es en base al método de volúmenes finitos, es uno de los métodos más usados el cual permite discretizar y resolver numéricamente ecuaciones diferenciales. En este se requiere especificar perfiles de variación de la variable dependiente entre los puntos de la malla, en la que la solución obtenida satisface de forma exacta las ecuaciones, independiente del tamaño de la malla. (Ballena, 2016). Además, se puede modelar también por el método de elementos finitos, este método del elemento finito es una técnica numérica para resolver problemas que se pueden describir por ecuaciones diferenciales parciales o que pueden ser formulados por medio de una minimización de un funcional (cálculo variacional), por otro lado, el método también permite variar las condiciones (parámetros elásticos, viscosidad, densidad, temperatura, etc.) de los elementos individualmente o en grupos de acuerdo a las ecuaciones constitutivas que se empleen en el problema. (Mora, 2013). También, el método de diferencias finitas consiste en una aproximación de las derivadas parciales por expresiones algebraicas con los valores de la variable dependiente en un número finito de puntos seleccionados en el dominio. El valor de los puntos seleccionados se convierten en las incógnitas. La solución del sistema de ecuaciones algebraico permite obtener la solución aproximada en cada punto seleccionado de la malla (Ledesma, Rosas y Bernal, 2015) y (Fe, 2005).

Material y métodos:

Se consideró como variables: independiente, la evaluación numérica de los parámetros. Además, teniendo como variable dependiente, los parámetros de funcionamiento del ventilador centrífugo. En esta investigación se consideró como materiales, la unidad de demostración del Ventilador Centrífugo FM40 (ARMFIELD, 2017) y captador de datos de FM40 Armfield, además el Software Solidwork Flow Simulation que es una intuitiva solución de dinámica de fluidos computacional integrada en SOLIDWORKS 3D CAD que nos permitió simular de forma rápida flujos de líquido y gas a través y alrededor de sus diseños para calcular así el rendimiento y las capacidades del producto, estos se muestran en las Figuras 1 y 2, respectivamente.

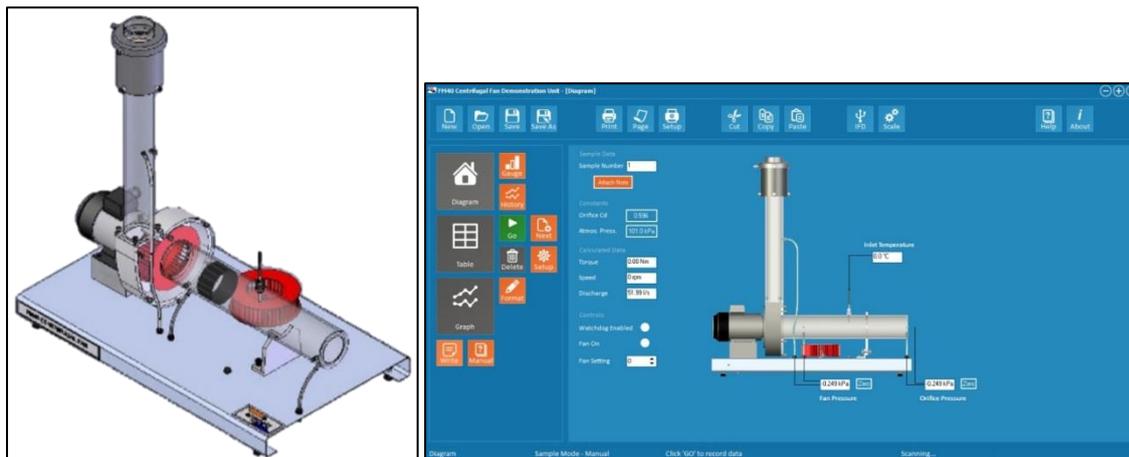


Figura 1. Unidad de demostración ventilador centrífugo (izquierda) y entorno de trabajo para toma de datos (derecha).

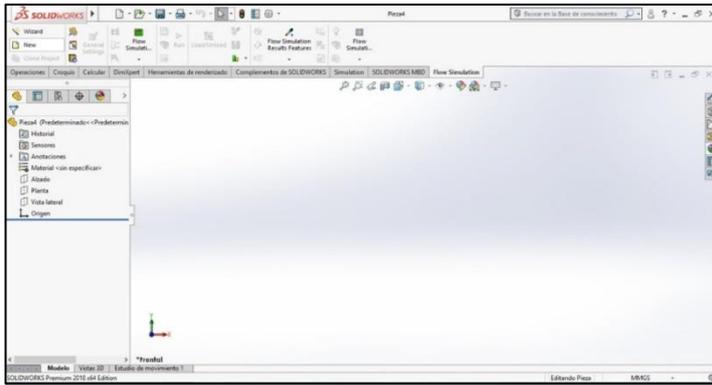


Figura 2. Entorno de trabajo de Solidwork 2018

La metodología consistió en identificar el impulsor del ventilador centrífugo FM40 Armfield, identificando su estructura y sus dimensiones que abordan a este, luego, se procedió a realizar el modelamiento a través del software Solidwork 2018, se muestra en la figura 3.

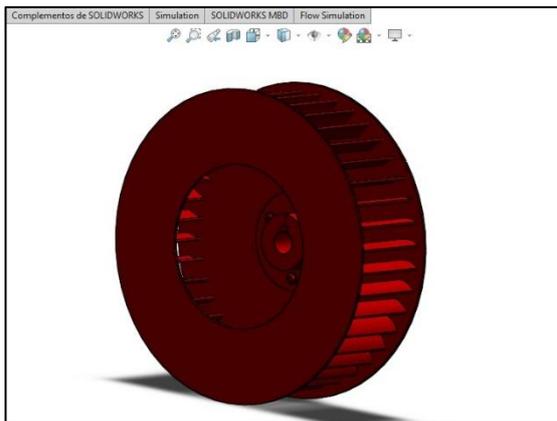


Figura 3. Modelamiento del impulsor del ventilador

Continuamos con el entorno de Flow Simulation; en este se creó un nuevo proyecto; asimismo, se ingresó el tipo de fluido a tratar, del dominio computacional, condiciones de contorno (Presión de entrada, Flujo a la salida), mostrado en la figura 4.

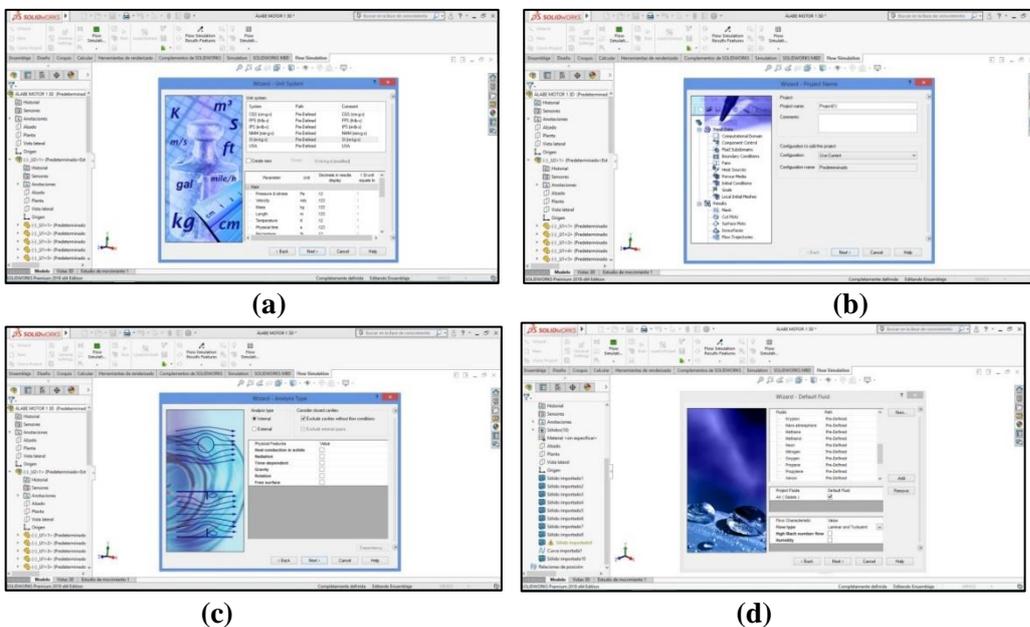


Figura 4. Presentación de ventanas a) nuevo proyecto, b) Unidad de Sistema, c) tipo de análisis y d) elección de fluidos de estudio.

Resultados

1. Parámetros de entrada para el modelamiento numérico, estos parámetros han sido obtenidos de la parte experimental para diversas configuraciones de velocidad del ventilador y diversas aperturas a la salida del flujo para variar el caudal del aire y serán ingresados en el programa de simulaciones SolidWorks, mostradas en la Tabla 1.

Tabla 1
Parámetros de entrada para la simulación numérica

Configuración del Ventilador [%]	Apertura	Velocidad del Ventilador [rpm]	Caudal de Flujo (m³/s)	Velocidad de Salida (m/s)
20	Apertura 1	708.0	0.019	4.312
	Apertura 2/3	708.0	0.015	3.319
	Apertura 1/3	708.0	0.007	1.596
40	Apertura 1	1416.0	0.041	9.349
	Apertura 2/3	1416.0	0.033	7.373
	Apertura 1/3	1416.0	0.015	3.320
60	Apertura 1	2124.0	0.061	13.794
	Apertura 2/3	2124.0	0.050	11.294
	Apertura 1/3	2124.0	0.022	4.959
80	Apertura 1	2832.0	0.088	19.939
	Apertura 2/3	2832.0	0.067	15.071
	Apertura 1/3	2832.0	0.028	6.442
100	Apertura 1	3540.0	0.112	25.333
	Apertura 2/3	3540.0	0.079	17.879
	Apertura 1/3	3540.0	0.036	8.118

2. Parámetros de salida de la simulación numérica, la simulación numérica del ventilador centrífugo inicia teniendo abierto el programa y realizamos las diferentes configuraciones, al realizar esa acción nos pide datos para poder simular, utilizamos los datos presentados anteriormente, luego definimos el número de mallas que seleccionaremos para esta simulación, a mayor número de mallas la simulación es más exacta, pero, también, al aumentar el número de mallas el tiempo para realizar la simulación numérica aumenta, porque el programa hará más iteraciones buscando la estabilización de los valores, después de realizar esas dos acciones anteriores disponemos a presionar el botón *run* que está representado por una flecha y al esperar el determinado tiempo por defecto nos arroja tablas y gráficos de parámetros generales, si por ende se necesita un parámetro en específico se puede configurar y seleccionar los parámetros que deseamos y necesitaremos para nuestros cálculos, Tabla 2.

Tabla 2
Parámetros asignados en el software para la simulación.

Configuración del ventilador	Parámetro	Apertura 1	Apertura 2/3	Apertura 1/3
20%	Velocidad angular [rad/s]	74.14	74.14	74.14
	Caudal volumétrico [m³/s]	0.019	0.015	0.007
	Velocidad de salida del ventilador [m/s]	4.312	3.319	1.596
	Presión Dinámica [Pa]	50.547	41.929	37.368
	Torque [N*m]	0.057	0.048	0.039
40%	Velocidad angular [rad/s]	148.28	148.28	148.28
	Caudal volumétrico [m³/s]	0.041	0.033	0.015
	Velocidad de salida del ventilador [m/s]	9.349	7.373	3.32
	Presión Dinámica [Pa]	204.968	204.974	136.709
	Torque [N*m]	0.062	0.056	0.021

60%	Velocidad angular [rad/s]	222.425	222.425	222.425
	Caudal volumétrico [m ³ /s]	0.061	0.05	0.022
	Velocidad de salida del ventilador [m/s]	13.794	11.294	4.959
	Presión Dinámica [Pa]	452.415	411.409	369.878
	Torque [N*m]	0.195	0.188	0.105
80%	Velocidad angular [rad/s]	296.566	296.566	296.566
	Caudal volumétrico [m ³ /s]	0.088	0.067	0.028
	Velocidad de salida del ventilador [m/s]	19.939	15.071	6.442
	Presión Dinámica [Pa]	906.895	716.285	653.333
	Torque [N*m]	0.354	0.301	0.175
100%	Velocidad angular [rad/s]	370.708	370.708	370.708
	Caudal volumétrico [m ³ /s]	0.112	0.079	0.036
	Velocidad de salida del ventilador [m/s]	25.333	17.879	8.118
	Presión Dinámica [Pa]	1496.100	1050.595	1056.000
	Torque [N*m]	0.540	0.334	0.215

a. Efecto de las variables de operación en la Presión, evaluaremos cómo se comporta mediante la simulación en sus diferentes configuraciones de velocidad de ventilador y resaltando cada apertura.

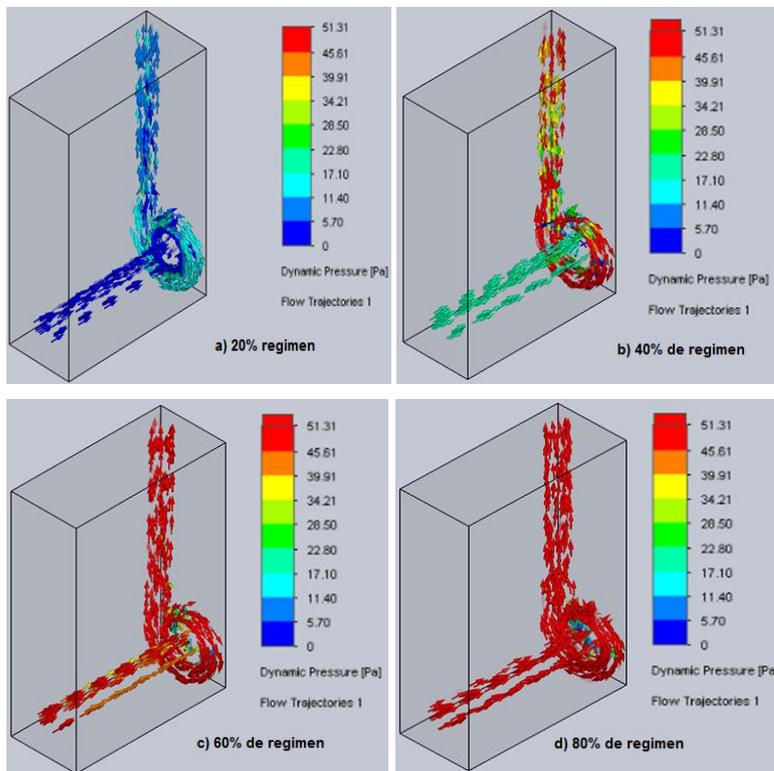


Figura 5. Líneas de presión del aire en el ventilador, para diversos regímenes de giro.

En la figura 5, presentamos el parámetro de presión con configuración del ventilador a diversos régimen de giro manteniendo la válvula de estrangulamiento en apertura 1, en a) a 708 rpm apreciamos que hay aumento de presión en la salida del rotor del ventilador a comparación de la entrada, mostrándose cambio de azul a celeste, en el rango de 0 a 11.40Pa, en b) a 1416 rpm de celeste a rojo, en el rango de 17.10 a 45.61Pa, en c) a 2124 rpm está dentro del del rango de 39.91 a 45.61Pa y en d) a 2832 rpm se sigue la tendencia de incremento de rojo a rojo intenso, es decir está dentro del rango de 45.61 a 51.31Pa.

b. Efecto de las variables de operación en la Temperatura, revisaremos ahora, para saber cómo se comporta mediante la simulación en sus diferentes configuraciones de velocidad de ventilador y resaltando cada apertura de estas.

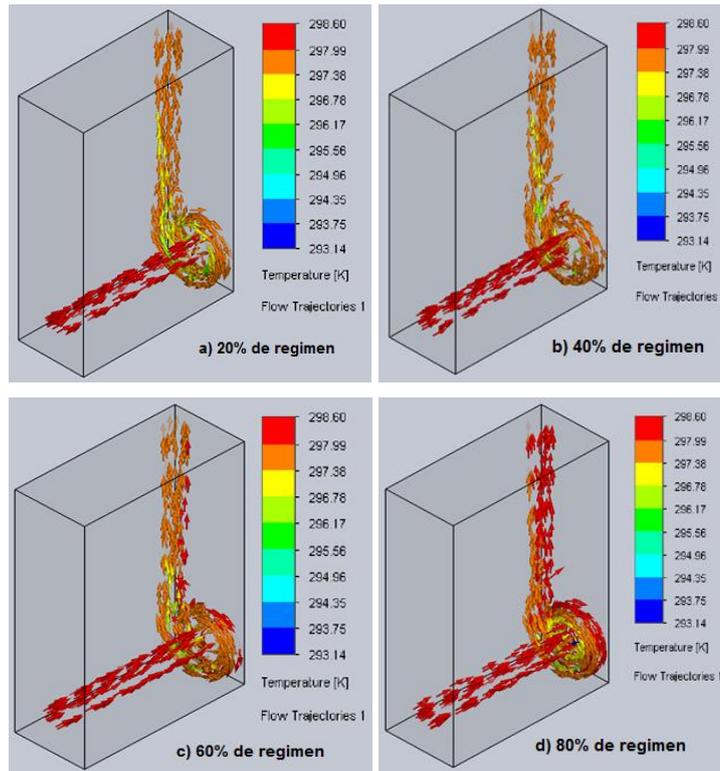
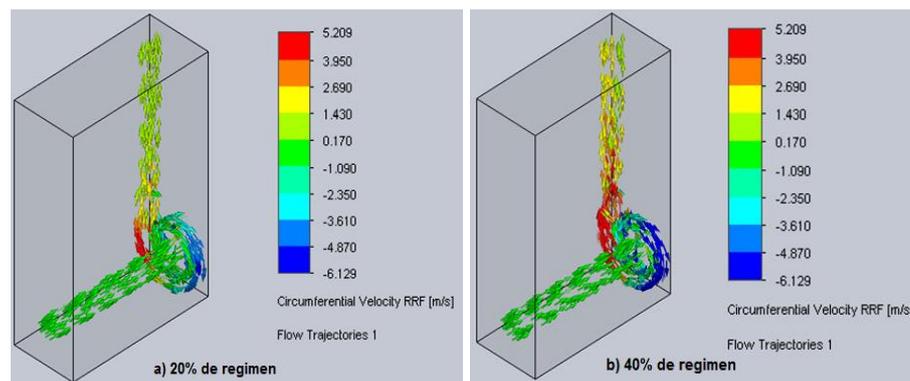


Figura 6. Líneas de temperatura del aire en el ventilador, para diversos regímenes de giro.

En la figura 6, presentamos el parámetro de las líneas de corriente de la temperatura del aire en el interior del ventilador a diversos regímenes de giro manteniendo la válvula de estrangulamiento fija en la apertura 1. En la figura a) 708 rpm apreciamos la disminución de temperatura en la salida del rotor del ventilador con respecto a la entrada resaltándose el cambio de rojo a anaranjado, en el rango 297.99 a 297.38K, en b) 1416 rpm la temperatura en la salida del rotor disminuye con respecto a la entrada nótese el cambio de rojo a anaranjado, en el rango 297.99 a 297.38K, en c) a 2124 rpm la temperatura está dentro del color de rojo a anaranjado cuyo rango es 297.99 a 297.38K; finalmente, en d) 2832 rpm se mantiene la tendencia de la disminución de la temperatura respecto a la entrada el cual es una indicativo del comportamiento de este parámetro y obedece a la conservación de la energía, de rojo a anaranjado con rasgos rojos en el rango 297.99 a 297.38K.

c. Efecto de las variables de operación en la Velocidad, finalmente, evaluaremos el comportamiento de las líneas de corriente del parámetro de velocidad en el interior del ventilador para saber cómo se comportó según la velocidad de ventilador y resaltando cada apertura de éstas.



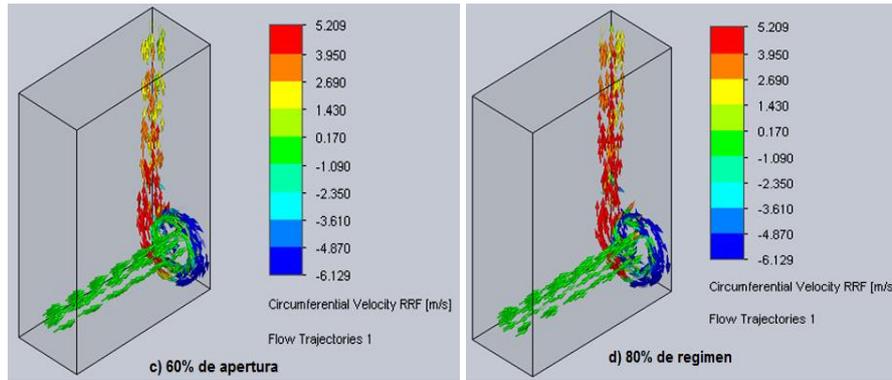


Figura 7. Líneas de velocidad del aire en el ventilador, para diversos regímenes de giro.

En la figura 7, presentamos el parámetro de velocidad con configuración del ventilador a diversos régimen de giro manteniendo fijo la apertura de la válvula de estrangulamiento en la posición 1, estas figuras se obtuvieron del programa SolidWorks, en la figura a) a 708 rpm apreciamos un aumento de la velocidad en la salida del rotor del ventilador con respecto a la entrada resaltándose el cambio de color de verde a anaranjado con rasgos amarillo, es decir, está dentro del rango 0.170 a 2.690m/s, para la figura b) a 1416 rpm apreciamos nuevamente el aumento de velocidad en la salida del rotor del ventilador con respecto a la entrada, en este caso, está dentro del rango 0.170 a 2.690m/s; además, en la figura c) a 2124 rpm la velocidad en la salida del rotor del ventilador se encuentra entre el color verde a rojo con rasgos anaranjado, es decir, dentro del rango 0.170 a 3.950 m/s, finalmente en d) a 2832 la velocidad del flujo de aire en el interior del ventilador se apreciamos el aumento tal cual se presentaba en los regímenes menores de giro en este caso se encuentra dentro del rango 0.170 a 3.950m/s. el comportamiento en todos los caso es al incremento gradual no pronunciado, lo resaltante es que sigue la tendencia y no disminuye.

Efecto de las variables presión, temperatura y velocidad en la potencia mecánica y eficiencia del ventilador. Al realizar las operaciones correspondientes a las ecuaciones que gobiernan el ventilador, para cada configuración presentada del ventilador al 20, 40, 60, 80 y 100% de régimen de giro con sus diferentes aperturas de la válvula de estrangulamiento, obtenemos los siguientes resultados mostrados en la tabla 3.

Tabla 3

Parámetros asignados en el software para la simulación.

Configuración del Ventilador [%]	Aperturas	Velocidad del Ventilador [rpm]	Motor Torque [Nm]	Caudal de Flujo [m³/s]	Presión Total del Ventilador [Pa]	Potencia del Ventilador de Salida [W]	Potencia Mecánica [W]	Eficiencia [%]
20	1	708	0.057	0.019	50.547	0.960	4.226	22.725
	2/3	708	0.048	0.015	41.929	0.629	3.559	17.673
	1/3	708	0.039	0.007	37.368	0.262	2.892	9.046
40	1	1416	0.062	0.041	204.968	8.404	9.194	91.408
	2/3	1416	0.056	0.033	204.974	6.764	8.304	81.458
	1/3	1416	0.021	0.015	136.709	2.051	3.114	65.853
60	1	2124	0.195	0.061	452.415	27.597	43.373	63.628
	2/3	2124	0.188	0.05	411.409	20.570	41.816	49.193
	1/3	2124	0.105	0.022	369.878	8.137	23.355	34.842
80	1	2832	0.354	0.088	906.895	79.807	104.984	76.018
	2/3	2832	0.301	0.067	716.285	47.991	89.266	53.762
	1/3	2832	0.175	0.028	653.333	18.293	51.899	35.248
100	1	3540	0.540	0.112	1496.100	167.563	200.182	83.705
	2/3	3540	0.334	0.079	1050.595	82.997	123.816	67.032
	1/3	3540	0.215	0.036	1056.000	38.016	79.702	47.698

En la tabla 3, presentamos los valores de potencia mecánica del ventilador donde podemos apreciar que conforme vayamos aumentando la configuración de régimen de giro del ventilador va aumentando la potencia, siendo la configuración del 100% la que posee mayor potencia. Además, también se muestra

en la tabla la eficiencia del ventilador en esta variable podemos apreciar que cuando el ventilador está a la configuración de 40% de velocidad su eficiencia es mayor.

Discusión

En comparación con el trabajo de los autores Vecina et al. (2017) donde las simulaciones numéricas fueron resueltas con Fluent/ANSYS a través de la ecuación de continuidad utilizando 3 mallas, la diferencia entre los resultados simulados y experimentales son: para caudal el 4% y potencia el 18%. Mientras que, en nuestro trabajo, donde las simulaciones numéricas fueron resueltas con SolidWorks utilizando 2 mallas, la diferencia es, para caudal el 0% y potencia el 15%. Lo cual muestra similitud en los resultados para los parámetros característicos de un ventilador centrífugo con álabes inclinados hacia atrás.

En el trabajo de Herrera et al., (2010), en el cual al utilizar la dinámica de fluidos por computadora (CFD) concluyen, al igual que nosotros, la importancia de la creación del enmallado el cual definirá el número de nodos para el desarrollo de las ecuaciones, esto para la determinación del parámetro de velocidad, el cual difiere el 5% a comparación del cálculo experimental, mientras que, en nuestro trabajo, la diferencia del parámetro velocidad es 9%.

Conclusiones

Según el primer objetivo específico, se determinó experimentalmente los parámetros característicos en el ventilador centrífugo, en el cual, la tendencia del parámetro presión es aumentar en la apertura 2/3 y disminuir en la apertura 1/3 a partir de la configuración del 40% del ventilador, teniendo como valores 161.765, 161.776 y 147.749Pa; en el parámetro potencia la tendencia es de disminuir cada vez que se realice es estrangulamiento de la válvula, para la configuración 40% tenemos los siguientes valores: 6.681, 5.270 y 2.167W; y, finalmente, en el parámetro eficiencia la tendencia es de disminuir conforme se estrangule la válvula a excepción de la configuración al 40% que se comporta diferente, para la configuración 20% tenemos: 18.2, 13.4 y 6.6%.

Para el segundo objetivo específico, se determinó numéricamente los parámetros característicos en el ventilador centrífugo utilizando para la simulación el programa SolidWork Flow Simulation, en el cual, la tendencia del parámetro presión es disminuir conforme se va estrangulando la válvula de salida, para la configuración del 40% del ventilador, tenemos los valores 204.968, 204.974 y 136.709Pa; en el parámetro potencia, la tendencia es de disminuir cada vez que se realice es estrangulamiento de la válvula, para la configuración 40% tenemos los siguientes valores: 8.404, 6.764 y 2.051W; y, finalmente, en el parámetro eficiencia la tendencia es de disminuir conforme se estrangule la válvula, para la configuración 40% tenemos: 91.4, 81.5 y 65.9%, es, a esta configuración, que encontramos la mayor eficiencia.

Finalmente, para el tercer objetivo, se realizó la comparación de los parámetros característicos del ventilador centrífugo obtenidos numérica y experimentalmente, donde el parámetro presión difiere en 14.7%, el parámetro potencia en 15.0% y eficiencia en 12.3%.

Referencias

Molina, A. R., Gómez, H. C., Naizir, J. S., Natera, L. D. L. C., & Mckinley, J. R. (2017). Diseño de un banco de pruebas para ventiladores axiales en serie, norma ANSI/AMCA 210. *Scientia et technica*, Vol. 22(N° 4), pp. 320-329. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84955649004>

Ledesma, A. C., Rosas, K. I. G., & Bernal, O. M. (2015). Introducción al método de diferencias finitas y su implementación computacional. *Bernal, Facultad de Ciencias, UNAM*. <https://sites.google.com/ciencias.unam.mx/acl/en-desarrollo>.

Motorgiga (2020). Diccionario virtual: Ventilador – Definición - Significado. <https://diccionario.motorgiga.com/diccionario/ventilador-definicion-significado/gmx-niv15-con195909.htm>

Fe, J. (2005). Aplicación del método de volúmenes finitos a la resolución numérica de las ecuaciones de aguas someras con incorporación de los esfuerzos debidos a las turbulencias. <http://hdl.handle.net/2183/1165>

Gruber, (2018). Ventiladores Centrífugos Industriales - Diseño De Palas. Gruber Hermanos - Ventiladores Industriales Centrífugos y Axiales. Recuperado de: https://www.gruberhermanos.com/productos_v_centrifugos_palas.html.

Herrera Prat, M. I., García de la Figal Costales, A. E., de las Cuevas Milán, H., & Martins Teixeira, M. (2010). Modelación mediante la dinámica de los fluidos por computadora (CFD) de la corriente de aire de un pulverizador agrícola con ventilador centrífugo. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Vol. 19(Nº 3), pp. 62-68. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93218514012>.

ARMFIELD (2017). Laboratorio de Turbomáquinas. Módulo ventilador centrífugo FM40. Nuevo Chimbote: Universidad Nacional del Santa.

Pretel, Y. M. (2019). Diseño de un ventilador centrífugo para secado de pellets de plástico reciclado en la Empresa Consorcio Reciclador del Norte SAC. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/37783>

Seminario, R. (2012). Métodos numéricos para ingeniería. España.

Vargas, J. (2013). Estudio teórico-experimental de un ventilador centrífugo de alabes rectos radiales del Laboratorio de Energía-PUCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/1761>

Vecina, T. D., Kothe, L. B., & Luz, J. L. (2017). Proyecto de optimización de un ventilador centrífugo mediante dinámica de fluidos computacional (CFD) y comparación con mediciones experimentales. *Espacios*, Vol. 38 (Nº 36), pp. 4. <https://www.revistaespacios.com/a17v38n36/a17v38n36p04.pdf>

Mora, J. R. F. (2013). Introducción al Método del Elemento Finito para el Electromagnetismo. (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Autónoma de México). <https://repositorio.unam.mx/contenidos/203294>.

Ballena, E. J. (2016). Evaluación numérica del campo de temperatura de un sistema de enfriamiento por aire mediante aletas en un motor monocilíndrico honda tipo CDI CG 125. <https://hdl.handle.net/20.500.14278/3242>.