

MODELACIÓN Y SIMULACIÓN POR VOLÚMENES FINITOS DE UN IMPULSOR DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA

Modeling And Simulation By Finite Volumes Of A Centrifugal Pump Impeller

¹Santiago Choto , ¹Miguel Aquino*, ¹Edwin Pozo, ¹Marco Ordóñez, ¹Geovanny Novillo, ¹Gloria Miño, ¹Miguel Escobar

¹Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
*s_migue4770@hotmail.com

Resumen

El rodete de una bomba centrífuga es un elemento mecánico que es capaz de transferir energía al fluido para impulsarlo. La modelación de un impulsor de bomba centrífuga es un proceso que requiere de alta precisión. En el presente trabajo se usa técnicas de ingeniería inversa para conseguir la modelación tridimensional del rodete. Uno de los aspectos importantes previo a la construcción de un impulsor es establecer una geometría adecuada y eficiente. En la actualidad los métodos computacionales son de gran ayuda en el diseño de partes mecánicas. La dinámica de fluidos computacional (CFD) aplica el método de volúmenes finitos para generar modelos simulados de problemas de la mecánica de fluidos. En el presente trabajo, se parte de un modelo de impulsor de bomba centrífuga para obtener el volumen de control que genera el fluido al atravesar el impulsor. Este volumen se discretiza y establece las condiciones del fenómeno en estudio. El computador resuelve sistemas de ecuaciones que permiten visualizar el comportamiento del fluido por medio de códigos de colores. Estos códigos de colores son de ayuda para analizar la eficiencia de la bomba y para su posterior diseño y selección de materiales.

Palabras claves: Impeler, bomba centrífuga, CAD, CAE, CAM, CFD

Abstract

The impeller of a centrifugal pump is a mechanical element that is capable of transferring energy to the fluid to impulse it, the modeling of a centrifugal pump impeller is a process that requires high precision, in the present work reverse engineering techniques are used to achieve the modeling of the impeller. One of the important aspects before the construction of an impeller is to establish a suitable and efficient geometry, currently the computational methods are very useful in the design of mechanical parts, computational fluid dynamics (CFD) applies the finite volume method to generate simulated models of fluid mechanics problems. In the present work, a centrifugal pump impeller model is used to obtain the volume of control generated by the fluid passing through the impeller. This volume is discretized and establishes the conditions of the phenomenon under study. The computer solves systems of equations that allow to visualize the behavior of the fluid by means of color codes. These color codes are helpful to analyze the efficiency of the pump and for its subsequent design and material selection.

Keywords: Impeller, centrifugal pump, CAD, CAE, CAM, CFD

Fecha de recepción: 06-10-2017
Fecha de aceptación: 09-12-2017

INTRODUCCIÓN

El rodete es un componente giratorio de una bomba centrífuga fabricado en hierro, acero, bronce, latón, aluminio o plástico, que se encarga de transferir energía desde el motor que genera movimiento de rotación al rodete, el cual impulsa el fluido, mediante la aceleración hacia el exterior desde el centro de rotación (1).

Los métodos de manufactura actuales requieren de la modelación de las piezas por medio de *software* de diseño asistido por ordenador (CAD).

Una de las alternativas que se emplea hoy para la modelación de partes y piezas mecánicas (impulsor cerrado) es la aplicación de una de las técnicas de la ingeniería inversa, como es el escáner 3D, y *software* de interfaz, que ayuda en la generación del modelo geométrico a través de una nube de puntos.

La dinámica de fluidos computacional (CFD) estudia la mecánica de fluidos aplicando métodos para poder predecir flujo de fluidos, transferencia de calor y masa, reacciones químicas, etc. Dichos métodos son resueltos numéricamente por medio de modelos matemáticos que gobiernan el fenómeno como son conservación de masa, momento, energía, cantidad de momento (2). Para determinar los modelos matemáticos, se parte de discretizar un elemento continuo, pudiendo realizarse

por diversas formas; para el análisis de fluidos, el método de volúmenes finitos es uno de los más utilizados (7).

El flujo turbulento del remolino generado después del impulsor ha estado ocupando la atención de los investigadores por años. Se han realizado un sinnúmero de trabajos de simulación en *software* especializado en CFD.

En el presente trabajo, se plantea utilizar un modelo virtual de rodete de bomba centrífuga y estudiar la eficiencia de la utilización de *software* para poder predecir el funcionamiento del *impeller* antes de su construcción y pruebas.

MATERIALES Y MÉTODOS.

A. Obtención del prototipo virtual de impulsor

Para obtener el modelo virtual del impulsor, se hace uso de un escáner 3D que en la interfaz del *software* Vx-element. Se prepara la pieza que se va a escanear ubicando puntos para el reconocimiento del láser, creando una nube de puntos en el espacio (x, y, z) en un formato cst y luego se puede exportar como stl binario, como se puede observar en la figura 1.

Luego de generarse la nube de puntos, se puede trabajar con un *software* de edición (Geomagic Design) adecuado para el tratamiento de la nube de puntos donde se genera por defecto un croquis, el mismo que ayuda a realizar la geometría base del impulsor para luego generar el sólido como se muestra en la figura 2.

Una vez realizado el modelo tridimensional, se evalúa la geometría que fue escaneada con herramientas del *software*. Este permite realizar la comparación de la nube de puntos y el sólido, revelando las zonas que tengan una desviación geométrica de acuerdo a una barra de colores. El color verde muestra que no existe ninguna desviación; el azul, valor menor al espesor especificado y el rojo, valor mayor al espesor



Figura. 1 Preparación y escaneado del impulsor

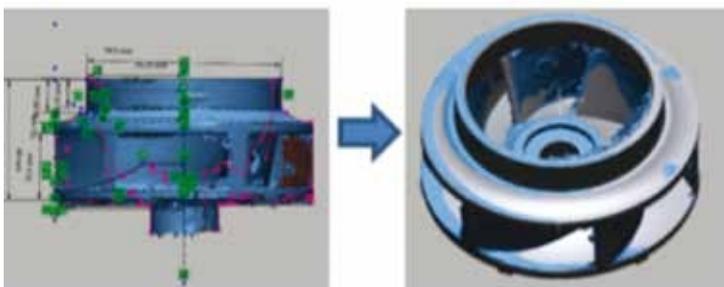


Figura. 2. Curado de la nube de puntos y creación del impulsor

especificado como se puede apreciar en la figura 3. Por tanto, se indica los puntos donde debe modificarse la nube de puntos para que el modelo se ajuste a las tolerancias geométricas requeridas.

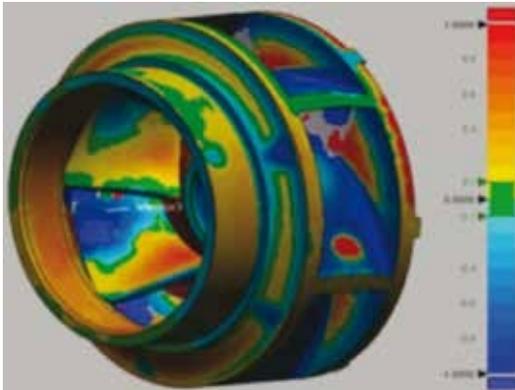


Figura 3. Evaluación de la geometría del impulsor

Finalmente, rectificando el sólido, se exporta a un *software* especializado en el CAD, permitiendo generar el modelo 3D con todos los detalles del modelo original como indica la figura 4.

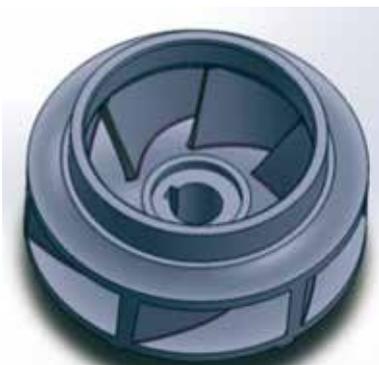


Figura 4. Prototipo CAD del impulsor

El análisis por medio de dinámica de fluidos computacional basado en el método de volúmenes finitos parte de la división de una región de fluido en un número finito de volúmenes de control como se muestra en la figura 5.

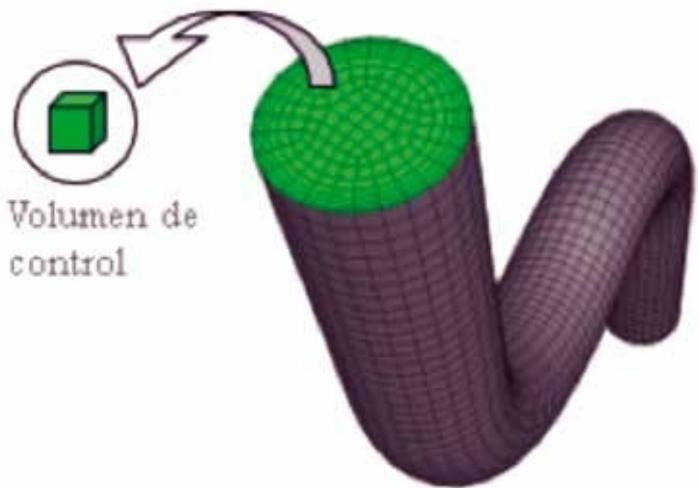


Figura 5. Discretización de una región de fluido en volúmenes finitos de control.

Este conjunto de volúmenes de control facilita la aplicación de las ecuaciones generales de conservación. La ecuación 1 es la ecuación principal de volúmenes finitos. Esta ecuación se reduce a una más simple al tomar en cuenta las ecuaciones de conservación de la tabla 1 dependiendo del fenómeno en estudio; para el caso del impulsor en el que se toma la temperatura constante, el análisis puede ser por cantidad de masa o cantidad de momento.

$$\underbrace{\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho \phi dV}_{\text{Inestable}} + \underbrace{\oint_A \rho \phi dV - dA}_{\text{Advección}} = \underbrace{\oint_A \Gamma \Delta \phi \cdot dA}_{\text{Difusión}} + \underbrace{\int_V S_\phi \cdot dV}_{\text{Generación}}$$

La aplicación de las ecuaciones generales de conservación permite generar ecuaciones diferenciales continuas a las que se denominan ecuaciones gobernantes que, al ser discretizadas en sistemas lineales de ecuaciones, se pueden resolver por medio de programas computacionales.

Conservation equation	ϕ	Γ	S_ϕ
Mass	1	0	0
x momentum	u	$\mu \left(\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{2}{3} \mu \Delta - \bar{u} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right)$	
y momentum	v	$\mu \left(\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial v}{\partial y} - \frac{2}{3} \mu \Delta - \bar{v} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right)$	
z momentum	w	$\mu \left(\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial w}{\partial z} - \frac{2}{3} \mu \Delta - \bar{w} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial v}{\partial z} \right) \right)$	
Energy	T	kC_p	0

Tabla 1. Ecuaciones de conservación

En el análisis por medio de CFD del rodete de bomba centrífuga, se plantea seguir la secuencia que se muestra en la figura 6.



Figura 6. Pasos para genera simulaciones en CFD.

A. Definición del problema

El modelo virtual del impulsor se generó por medio la aplicación de herramientas de ingeniería inversa; por tanto, es importante asegurar que la bomba trabaje de forma eficiente. En la figura 7, se muestra el impulsor en estudio. Debido a la complejidad de evaluación se planteó realizar el análisis de fluido desde la entrada hasta la salida del impulsor.

B. Preproceso

Definición de la geometría

La figura 8 muestra las regiones de fluido para el análisis. Se planteó analizar la influencia directa del fluido en el rodete.



Figura 7. Impulsor y sus componentes para el análisis

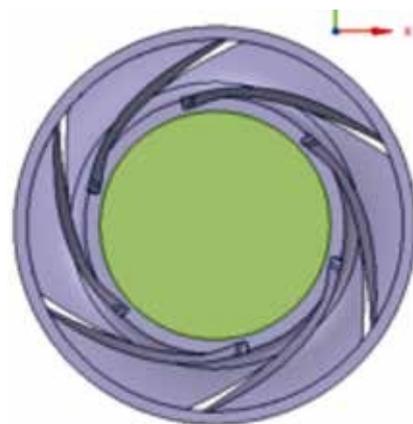
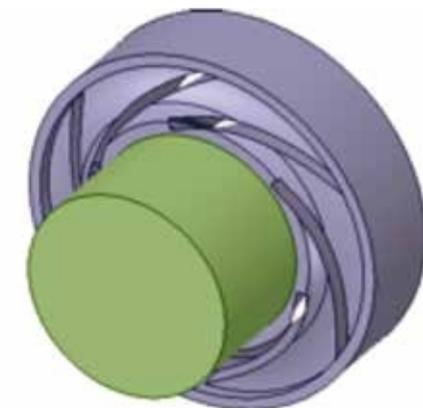


Figura 8. Volumen de control del fluido que atraviesa el rodete

Definición de la malla

Se genera la discretización para conseguir un número finito de pequeños volúmenes de control. Con la finalidad de observar la influencia de la discretización se generan

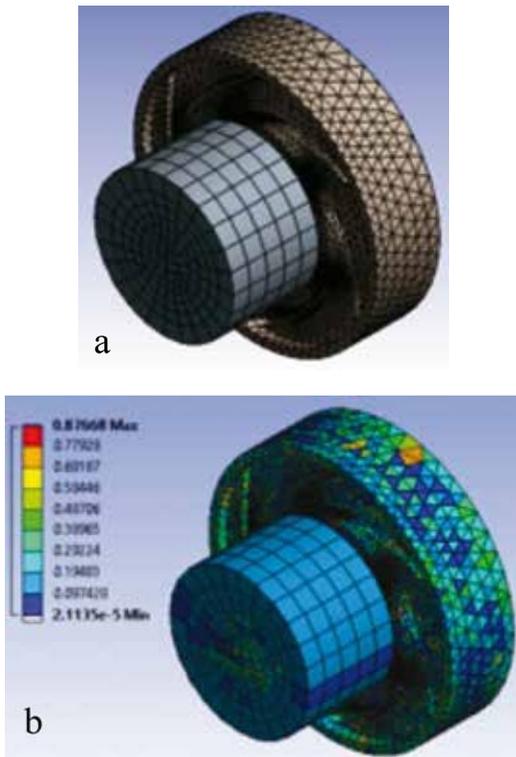


Figura 9. Discretización de las regiones de fluido, 250471 nodos y 1351333 elementos tetraédricos. Figura (a) Discretización del fluido impulsado por el rodete. Figura (b) Evaluación de la calidad de malla por el criterio de Skewness.

varios modelos con distintos tipos de volumen y formas de los volúmenes, lo que se evalúa en la figura 9.

Definición del modelo físico

El análisis consiste en establecer el comportamiento del agua a una temperatura de 25 °C al atravesar el impulsor. En la figura 10, se muestran las caras de ingreso y salida del fluido. La presión de ingreso del fluido es de 0,19 MPa y la salida tiene un flujo másico de 27,64 kg/s. Se planteó realizar un análisis en estado estacionario debido a la complejidad.

C. Proceso

El computador genera el proceso de cálculo sobre la base de las ecuaciones de conservación. En ANSYS CFX, se muestra curvas en las que se puede analizar la convergencia de la solución como se

indica en la figura 11. Uno de los factores importantes es el número de iteraciones que permitirá conducir a una mayor confiabilidad de los resultados.

D. Postproceso

Ansyc CFX genera como resultado de su simulación el flujo del fluido representado con códigos de colores, permitiendo analizar el funcionamiento del rodete sin necesidad de la construcción. Sin embargo, estos

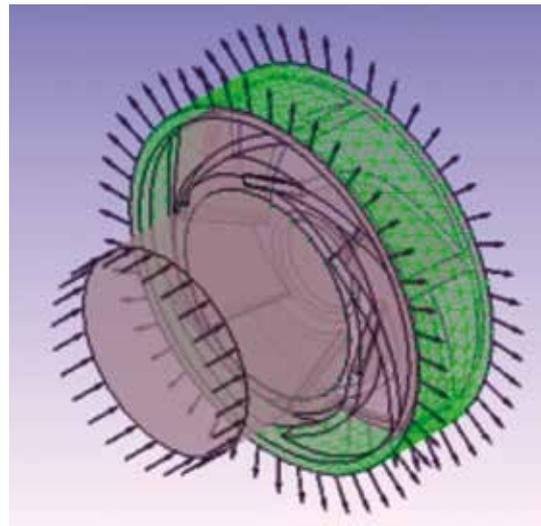


Figura 10. Definición de parámetros, condiciones y dominios para la simulación

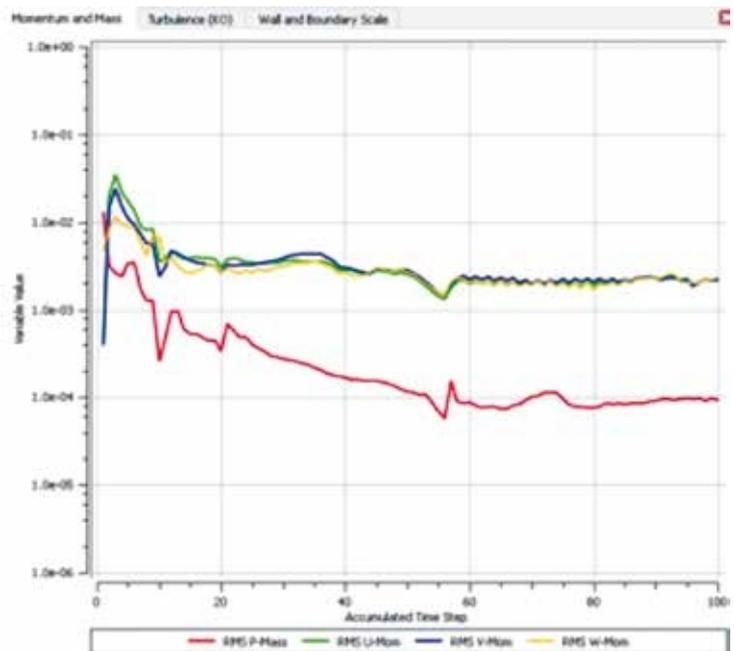


Figura 11. Convergencia de los resultados a la solución

resultados deben ser validados de ser posible con un modelo físico.

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

La tendencia del uso de la tecnología para el diseño de piezas complejas ha venido evolucionando, de tal manera que ha facilitado y permitido realizar réplicas casi perfectas con el uso del escáner 3D.

El escaneado 3D del impulsor ha proporcionado un ahorro de tiempo en la obtención de su geometría, pero también presenta limitaciones ya que la pieza mecánica (impulsor), por ser un objeto cerrado, ha dificultado que se escanee su parte interna; sin embargo, con la ayuda del *software* (Geomagic Design) de tratamiento de nube de puntos se ha reconstruido estas zonas defectuosas con bajos márgenes de error.

Se puede interpretar que, cuando se obtiene una nube de puntos densa en el proceso de escaneado, esto permite la construcción de la geometría del objeto en un menor tiempo.

La simulación permite obtener resultados del comportamiento del fluido al atravesar el *impeller*. En la figura 12, se muestra el comportamiento de presiones en el rodete tomando en cuenta el efecto de la rotación del impulsor. Se observa que, en el rodete, se produce una distribución de presiones no uniformes debido al efecto de giro del impulsor. Esta forma de distribución ocasiona zonas donde existen mayores esfuerzos mecánicos.

En la figura 13, se muestra las velocidades generadas por las líneas de fluido al atravesar, las líneas de flujo muestran uniformidad al ingreso mientras que a las salidas el efecto de rotación del *impeller* hace que el ordenamiento sea distinto.

Con la finalidad de estudiar la influencia del número de iteraciones que aumenta de 200 a 500 iteraciones demostrándose que este parámetro no provoca una significativa variación de resultados como muestran las figuras 14 y 15.

La figura 15 muestra el *impeller* construido con lo cual se observó que la correcta aplicación de la ingeniería inversa permite generar un *impeller* con tolerancias geométricas dentro de rangos adecuados, el rodete se probó su funcionamiento y se observó que la eficiencia en el bombeo tiene valores cercanos a los del *impeller* original que fue la base para el desarrollo de otro nuevo.

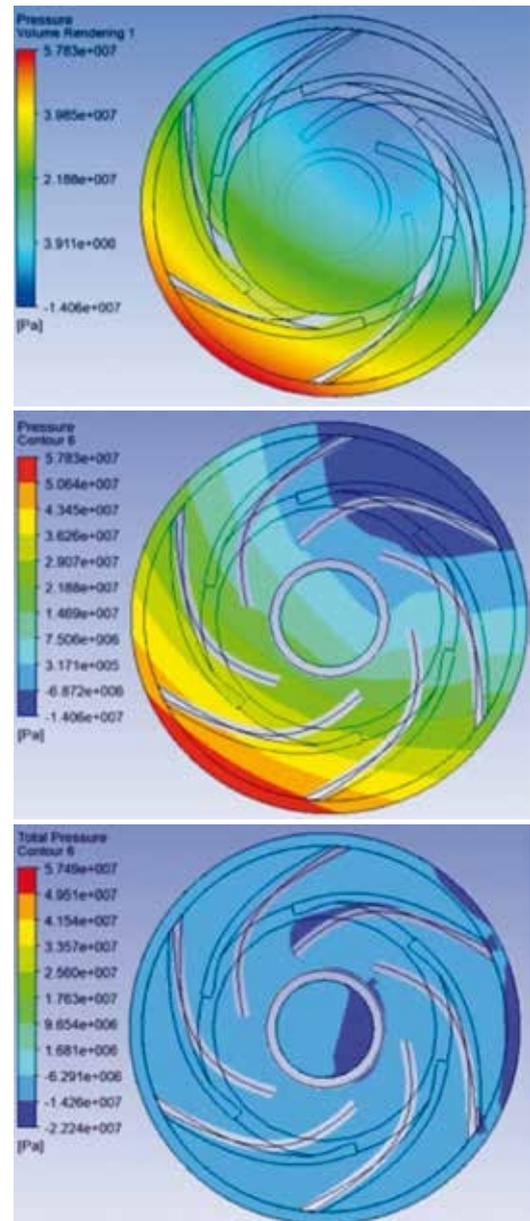


Figura 12. Presiones generadas en el impulsor para fluido agua, 250471 nodos y 1351333 elementos tetraédricos.

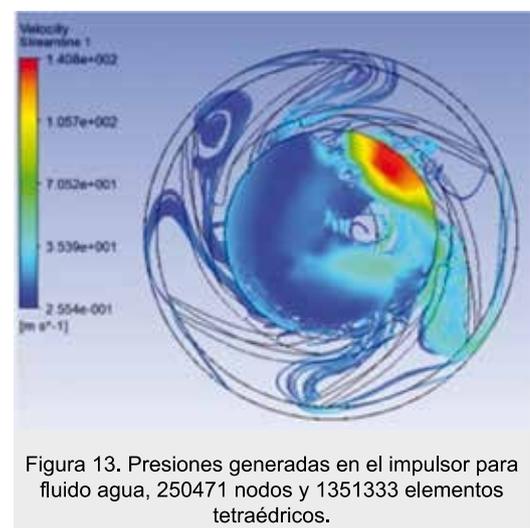


Figura 13. Presiones generadas en el impulsor para fluido agua, 250471 nodos y 1351333 elementos tetraédricos.

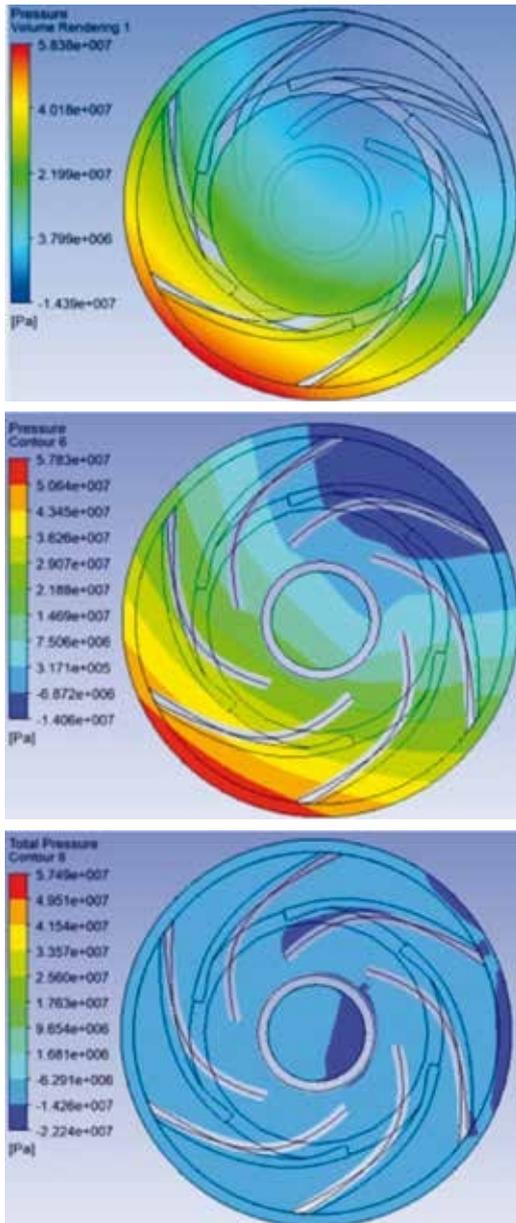


Figura 14. Presiones generadas en el impulsor para fluido agua, 250471 nodos y 1351333 elementos tetraédricos.



Figura 15. Impeler construido.

CONCLUSIONES

- El modelo virtual de *impeler* obtenido del escaneo de un *impeler* real genera una nube de puntos que debe ser verificada y modificada para reducir las tolerancias en los valores de medición.
- Al generar una discretización más fina del volumen de fluido en estudio se aumenta el tiempo de análisis computacional. Si bien es cierto que mallas finas deben generar mejores resultados, es imposible trabajar con mallas demasiado finas debido a que esto repercute en un alto costo computacional; por lo tanto, se requiere computadores con procesadores de altas características. En el trabajo, se utiliza el criterio de Skewness que establece que, mientras más cercano a cero sea el valor de este índice, mejor es la calidad de malla.
- En el presente trabajo, se usó el módulo CFX de ANSYS para generar los modelos de simulación de fluidos en un rodete de bomba; la simulación genera distintos resultados del comportamiento del fluido en el interior del rodete. Para validar o mejorar la calidad de los resultados obtenidos se debe realizar varias simulaciones con distintos tipos y tamaños de malla, también es importante el uso de otros módulos y/o *software* que permiten el análisis de fluidos computacional para comparar los resultados y pasar al proceso de construcción y pruebas con un alto grado de seguridad del rendimiento del *impeler*.
- La simulación permite la realización de modificaciones en el rodete de la bomba en busca de lograr parámetros que generen los más altos rendimientos. Además, los parámetros de funcionamiento simulados, como es el caso de presiones y fuerzas que se producen en el impulsor, permiten la verificación de la resistencia mecánica del elemento, permitiendo la futura selección del material más adecuado en función de la aplicación del rodete.

R referencias

1. Van Der Merwe BB, Design of a Centrifugal Compressor Impeller for Micro Gas Turbine Application, [tesis de maestría] Stellenbosch: Stellenbosch University; 2012.
2. Visavale G, Introduction to CFD. En Ganesh Visavale [blog internet]. Nov 2, 2012. Disponible en ganeshvisavale.wordpress.com/2012/11/02/carrer-oppotunities-inecfd/
3. Singh RR, Nataraj M, Design and analysis of pump impeller using SWFS, vol. 10, no. 2, pp. 152–160, 2014.
4. Rodriguez MB, Ingeniería Inversa Aplicada: Metodología y aplicaciones industriales., p. 42, 2011.
5. Paulic M et al., Reverse engineering of parts with optical scanning and additive manufacturing, *Procedia Eng.*, vol. 69, pp. 795–803, 2014.
6. Pérez SS, Modelación Geométrica Del Impulsor De Una Bomba Centrifuga, 2010.
7. Versteeg HK, Malalasekera W, An Introduction to Computational fluid Dynamics. The Finite Volume Method. Essex: Longman; 1995.