



Application of Fluid Dynamics to the Design of the Centrifugal Pump Model BSC 80/200 (130-65)

Aplicación de la dinámica de fluidos al diseño de la bomba centrífuga modelo BSC 80/200 (130-65)

Ing. Isidro Antonio Martínez-Blanco^I, Dr.C. Alain Ariel de la Rosa-Andino^{II}, MSc. Yusimit Karina Zamora-Hernandez^{II}, Dr.C. Idalberto Macías-Socarrás^{III}, MSc. René Misael Arias-Hidalgo^I, Lic. Laida Figueroa-Rodríguez^{IV}

^IUniversidad de Granma. Facultad de Ciencias Técnicas. Dpto. de Ingeniería Mecánica, Bayamo, Granma, Cuba.

^{II}Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Quevedo, Ecuador.

^{III}Universidad Estatal Península de Santa Elena, La Libertad, Santa Elena, Ecuador.

^{IV}Universidad de Granma. Facultad de Humanidades. Manzanillo, Granma, Cuba.

ABSTRACT. The present work was carried out with the aim of simulating the performance of the BSC 80/200 (130-65) centrifugal pump using the CFD method, thus obtaining the head-flow, power-flow and efficiency-flow characteristics curves. To carry out this project, specialized bibliography was taken into account in the parametric design of centrifugal pumps and in analysis by finite elements applied to fluids, later the design, 3D projection and computational simulation were carried out using ANSYS (CFX). The results include obtaining the three-dimensional models of the pump body and the three impellers (5 blades, 6 blades and 7 blades) and that the correlation in all the curves is as expected, corresponding to what is referred to in the specialized bibliography. It was concluded that the comparison of the results obtained through the CFD simulations taking into account the variations in the number of blades showed that the impeller that generates the best results is the one with 7 blades, reaching the best efficiency (90%), power (36,25 kW) for a 70% flow of design.

Keywords: Flow, Efficiency, Power, Impeller

RESUMEN. El presente trabajo se efectuó con el objetivo de simular mediante el método CFD el desempeño bomba centrífuga BSC 80/200 (130-65) obteniendo así las curvas características altura-caudal, potencia-caudal y eficiencia-caudal. Para la realización de este proyecto se tuvo en cuenta bibliografía especializada en el diseño paramétrico de bombas centrífugas y en análisis por elementos finitos aplicado a fluidos, posteriormente se realizó el diseño, proyección en 3D y simulación computacional por medio de ANSYS (CFX). Dentro de los resultados destacan obtención de los modelos tridimensionales del cuerpo de la bomba y los tres impelentes (5 álabes, 6 álabes y 7 álabes) y que la correlación en todas las curvas es la esperada, correspondiéndose con lo referido en la bibliografía especializada. Concluyendo que la comparación de los resultados obtenidos mediante las simulaciones CFD atendiendo a las variaciones del número de álabes arrojó que el impelente que genera mejores resultados es el de 7 álabes, alcanzando la mejor eficiencia (90%) y potencia (36,25 kW) para un 70% del caudal de diseño.

Palabras clave: caudal, eficiencia, potencia, impulsor.

INTRODUCTION

Centrifugal pumps are flow machines that convert mechanical energy into pressure energy (Shankar *et al.*, 2016) with

INTRODUCCIÓN

Las bombas centrífugas son máquinas de fluidos que convierten la energía mecánica en energía de presión (Shankar *et al.*, 2016) y su

Author for correspondence: Alain Ariel de la Rosa-Andino, e-mail: arosaa@udg.co.cu ORCID Id: <https://orcid.org/0000-0001-6593-8583>

Received: 12/12/2020.

Approved: 20/09/2021.

a considerable energy utilization which can be the 20 % of the total consumption (Weidong *et al.*, 2017; Lai *et al.*, 2019). In recent years, pump manufacturers have intensified their quest to develop rapidly cost-effective and high-performance pumps with compact and robust structures to meet the unlimited consumers' demands for high-end centrifugal pumps, as they offer a wide scope steady operation in both industry and agriculture (Wang *et al.*, 2019).

According to Lai *et al.* (2019), the centrifugal pump internal flow is complex due to its three-dimensional and unsteady feature. The impeller rotation leads to periodic flow interference between the impeller and the vane diffuser. This periodic flow interference produces pressure and vortex pulsations, which cause the main energy loss in the centrifugal pumps.

Traditionally, the information related to rotodynamic pumps behavior has been provided graphically, through the known characteristic curves of Load-Capacity, Efficiency-Capacity, Power-Capacity and NPSHr-Capacity (Aranibar, 2016; Iannetti *et al.*, 2016; Martínez & Riaño, 2018).

Currently, Computational Fluid Dynamics (CFD) represents a common practice for designing and optimizing hydraulic pumps, as it can improve the pump design, while reducing development cost and speeding commercialization time (Lorusso *et al.*, 2017).

Computational Fluid Dynamics (CFD) is one of the techniques used to solve Navier-Stokes equations, which is rapidly gaining in importance thanks to the development of high-speed computers. The CFD method uses numerical approaches to solve the nonlinear differential equations that describe a fluid behavior under certain geometries and boundary conditions. The CFD main advantage is that it is a modeling technique, which allows engineers to evaluate a wide range of computer system configurations performance with less time consumption (Abo Elyamin *et al.*, 2019).

Many numerical models can be found to calculate the Net Positive Suction Head NPSHr and evaluate the pump head curves. Generally, these models consider the complete headrace as the computational domain that shows great predictability of the NPSHr (Lorusso *et al.*, 2017).

The foregoing shows that the CFD approach has been widely used in centrifugal pumps as a numerical simulation tool for performance prediction under design and off-design conditions, parametric study, cavitation analysis, analysis of interaction effects on different components, prediction of axial thrust, study of pump performance in turbine mode, analysis of diffuser pump, etc. (Shah *et al.*, 2013).

In Cuba, there is a group of mechanical production companies that manufactures and repairs components to satisfy demands of important economic branches, such as the sugar industry. The commercialization of these pieces must compete with a dynamic market, which requires the development of new design projects with quality, speed and low cost. The need to adjust to current norms and standards is another factor, which regulates, as a fundamental parameter, the external dimensions and rotation frequencies. The power to start a pump is usually

consumo energético es considerable, en relación al consumo total, el cual puede llegar a ser 20% (Weidong *et al.*, 2017; Lai *et al.*, 2019). En los últimos años, los fabricantes de bombas han intensificado su búsqueda para desarrollar rápidamente bombas rentables y de alto rendimiento con estructuras compactas y robustas para satisfacer las demandas ilimitadas de los consumidores de bombas centrífugas de alta gama, ya que ofrecen una operación estable de amplio alcance tanto en la industria como en la agricultura (Wang *et al.*, 2019).

Según Lai *et al.* (2019) el flujo interno de la bomba centrífuga es complejo por su carácter tridimensional e inestabilidad. La rotación del impulsor conduce a una interferencia de flujo periódica entre el impulsor y el difusor álabes directrices. Esta interferencia periódica del flujo induce pulsaciones de presión y vórtices, que provocan la principal pérdida de energía en las bombas centrífugas.

Tradicionalmente la información relacionada con el comportamiento de las bombas rotodinámicas ha sido brindada de forma gráfica, mediante las conocidas curvas características de Carga-Capacidad, Eficiencia-Capacidad, Potencia-Capacidad y NPSHr-Capacidad (Aranibar, 2016; Iannetti *et al.*, 2016; Martínez & Riaño, 2018).

Actualmente, la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) representa una práctica común para diseñar y optimizar bombas hidráulicas, ya que puede mejorar el diseño de la bomba, al tiempo que reduce el costo de desarrollo y acelera el tiempo de comercialización (Lorusso *et al.*, 2017).

La dinámica de fluidos computacional (CFD) es una de las técnicas para dar solución a las ecuaciones de Navier-Stokes, la cual ha tomado auge producto al desarrollo de ordenadores de alta gama. El método CFD utiliza enfoques numéricos para resolver las ecuaciones diferenciales no lineales que describen el comportamiento de un fluido para ciertas geometrías y condiciones de contorno. La principal ventaja de CFD es que es una técnica de modelado que permite a los ingenieros evaluar el rendimiento de una amplia gama de configuraciones de sistema en computadoras con menos consumo de tiempo (Abo Elyamin *et al.*, 2019).

Se pueden encontrar varios modelos numéricos para calcular la Carga Neta Positiva de Succión NPSHr y evaluar las curvas de caída de las bombas. Generalmente, estos modelos consideran al corredor completo como el dominio computacional que muestra una gran predictibilidad del NPSHr (Lorusso *et al.*, 2017).

Lo anteriormente expuesto demuestra que el enfoque CFD se ha utilizado ampliamente en bombas centrífugas como herramienta de simulación numérica para la predicción del rendimiento en condiciones de diseño y fuera de diseño, estudio paramétrico, análisis de cavitación, análisis de efectos de interacción en diferentes componentes, predicción del empuje axial, estudio del rendimiento de la bomba en modo turbina, análisis de la bomba difusora, etc. (Shah *et al.*, 2013).

En nuestro país existe un grupo de empresas de producciones mecánicas que fabrican y reparan piezas para satisfacer demandas de renglones económicos importantes como es el caso de la industria azucarera. La comercialización de estos componentes debe competir con un mercado dinámico, lo que obliga a la elaboración de nuevos proyectos de diseño con calidad, rapidez y bajos costos. Otro factor es la necesidad de ajustarse a las normas y estándares vigentes; que como parámetro fundamental regulan las dimensiones externas y

supplied by an electric or internal combustion motor, as long as it meets the specifications set forth by the manufacturer (Márquez, 2002).

The Industrial Technical Services Company ZETI: “Comandante Manuel Fajardo Rivero”, located in Manzanillo City and belonging to the Business Group AZCUBA, which has traditionally worked in the manufacture of spare parts for the Cuban sugar industry and for export, has among its technologies foundry and is currently in an investment process. The investment plan includes foundry and machinery, which are the two main technologies of the company. To achieve its objectives, it has acquired CNC (Computational Numerical Control) machine tools with the appropriate software, as well as a high-tech laboratory equipment to guarantee the quality parameters of both technologies. In short, the company has increasingly moved its traditional technologies towards what is known as CAD / CAM technologies. Taking into account the abovementioned, the present work was aimed at simulate the performance of the BSC 80/200 (130-65) centrifugal pump using the CFD method, thus, obtaining the head-flow, power-flow and efficiency-flow characteristic curves.

MATERIALS AND METHODS

Operating Specifications

To analyze the pressures at the pump outlet, the impeller-volute assembly was studied. The geometric dimensions of each of the components correspond to the operating specifications shown in Table 1.

TABLE 1. Operating Specifications for Model BSC 80/200 (130-65) Single Suction Centrifugal Pump
 TABLA 1. Especificaciones de funcionamiento la bomba centrífuga de simple succión modelo BSC 80/200 (130-65)

Flow	Head	Rotation frequency
130 m ³ h ⁻¹	65	3 480 min ⁻¹

The design of the parts was initially obtained through the application termed Dipropump (Figure 1) created for the automation of the design (calculation and drawing) of the main parts of a model of a radial centrifugal pump of one stage and single suction, which is executed on AutoCAD.

las frecuencias de rotación. La potencia para el accionamiento de una bomba se suele suministrar comúnmente por un motor eléctrico o de combustión interna, siempre que este cumpla con las especificaciones expuestas por el fabricante (Márquez, 2002).

La Empresa de Servicios Técnicos Industriales ZETI: “Comandante Manuel Fajardo Rivero”, ubicada en la ciudad de Manzanillo y perteneciente al Grupo Empresarial AZCUBA, la cual tradicionalmente se ha desempeñado en la fabricación de piezas de repuesto para la industria azucarera cubana y para la exportación, cuenta, entre sus tecnologías, la de fundición y en la actualidad se encuentra en un proceso inversionista. El plan inversionista incluye las dos tecnologías principales de dicha empresa como son: fundición y maquinado. Para lograr sus objetivos han adquirido máquinas herramienta CNC (Control Numérico Computacional) con el software apropiado, así como un equipamiento de laboratorio de última generación para garantizar los parámetros de calidad de ambas tecnologías. En fin, la empresa cada vez más se ha acercado a mudar sus tecnologías tradicionales hacia lo que se conoce como tecnologías CAD/CAM. Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto se realizó el presente trabajo que tuvo como objetivo simular mediante el método CFD el desempeño bomba centrífuga BSC 80/200 (130-65) obteniendo así las curvas características altura-caudal, potencia-caudal y eficiencia-caudal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Especificaciones de funcionamiento

Para analizar las presiones a la salida de la bomba se estudió el conjunto impelente-voluta. Las dimensiones geométricas de cada uno de los componentes corresponden con las especificaciones de funcionamiento que se muestran en la Tabla 1.

El diseño de las piezas inicialmente fue obtenido mediante la aplicación nombrada Diprobomba (Figura 1) creada para la automatización del diseño (cálculo y dibujo) de las piezas principales de un modelo de bomba centrífuga radial de una etapa y simple succión, la cual se ejecuta sobre AutoCAD.



FIGURE 1. Main dialog of the Dipropump application for data entry.
 FIGURA 1. Diálogo principal de la aplicación Diprobomba para la entrada de los datos.

The result was the technical documentation in two dimensions (2D) of the pump casing as well as the impeller (Figure 2).

Ofrece como resultado final la documentación técnica en dos dimensiones (2D) del cuerpo de la bomba así como del rodete (Figura 2).

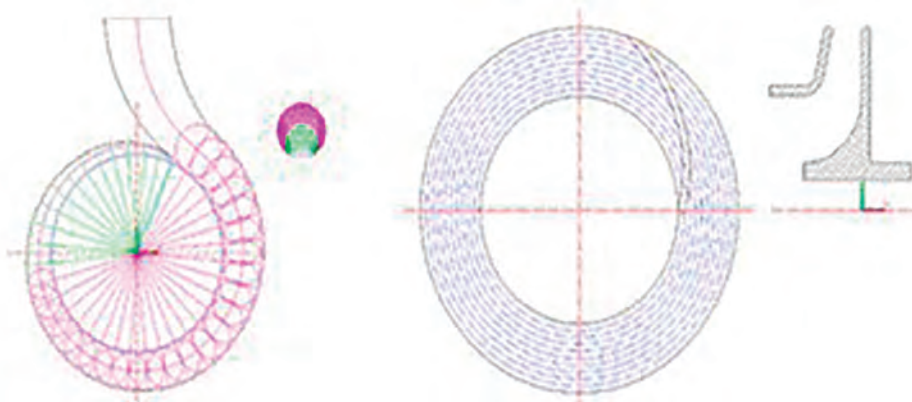


FIGURE 2. View of the graphical output (2D) of the volute and the impeller of the centrifugal pump.
 FIGURA 2. Vista de la salida gráfica (2D) de la voluta y el rodete de la bomba centrífuga.

The casing and impeller of the pump were modeled in the CAD SolidWorks program, and the dimensions were taken directly from the results of the execution of the above mentioned application (Figure 3).

El cuerpo y el rodete de la bomba fue modelado posteriormente en el programa CAD SolidWorks, y las dimensiones fueron tomadas directamente de los resultados de la ejecución de la aplicación antes mencionada (Figura 3).

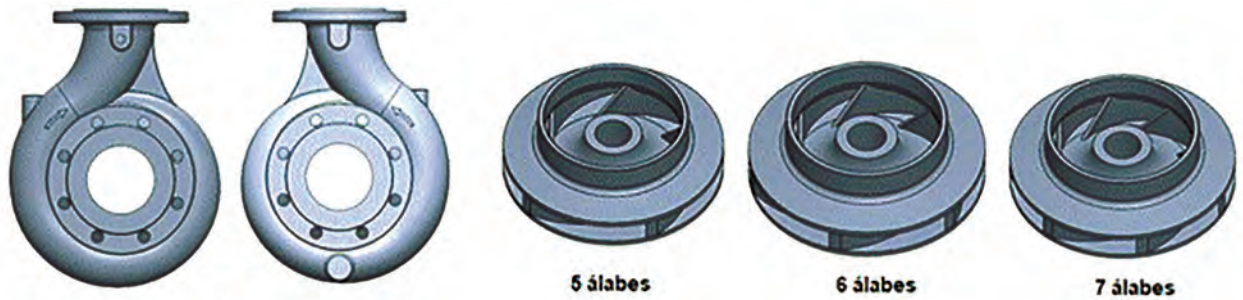


FIGURE 3. Views of the casing and impeller of the centrifugal pump model BSC 80/200 (130-65).
 FIGURA 3. Vistas del cuerpo y el rodete de la bomba centrífuga modelo BSC 80/200 (130-65).

Flow Field

The flow field depends on the type of analysis to be performed, which can be external or internal. In this investigation, the analysis was internal. In the Fluent-CFX calculation complement the liquid region was used as shown in Figure 4.

Campo de flujo

El campo de flujo depende del tipo de análisis a realizar, el cual puede ser externo o interno. En esta investigación el análisis fue interno. En el complemento de cálculo Fluent-CFX se trabajó con la región líquida, tal como se muestra en la Figura 4.

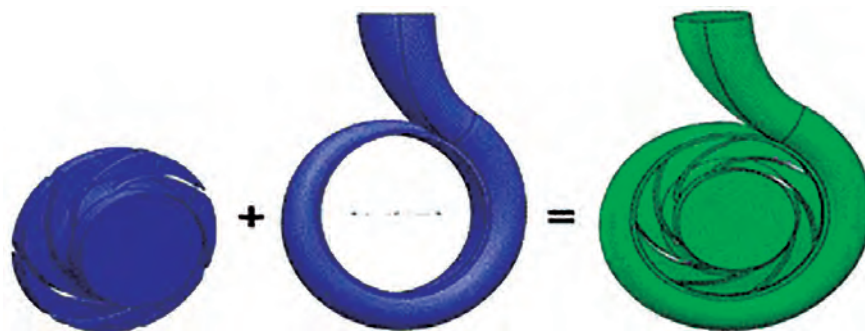


FIGURE 4. Flow field inside the centrifugal pump model BSC 80/200 (130-65).
 FIGURA 4. Campo de flujo del interior de la bomba centrífuga modelo BSC 80/200 (130-65).

Fluid Characteristics

The design calculations took into account water as the fluid to be moved, which when passing through the interior of a centrifugal pump can experience phase changes from liquid to vapor and vice versa as a result of temperature and pressure action. Every fluid has a saturation vapor pressure for each temperature, water at 25 ° C has the properties shown in table 2 and a saturation pressure of 0, 03166 bar (Mataix, 1986).

TABLE 2. Properties of water at 25 °C
 TABLA 2. Propiedades del agua a 25 °C

Phase	Molar Mass	Density	Specific heat
liquid	18,02 kg kmol ⁻¹	997 kg m ³	4181,7 J kg ⁻¹ K ⁻¹
Vapor	18,02 kg kmol ⁻¹	0,02308	

Considerations for CFD Analysis

Computational Fluid Dynamics (CFD) is based on the use of numerical methods to solve the equations that describe mass conservation, momentum and energy of a fluid. There are several computer calculation programs for the numerical simulation of fluids, which require powerful computers not often available, so the calculation complement termed ANSYS CFX was used for this analysis (Yao *et al.*, 2016; Domagała and Momeni, 2017).

Scheme for Simulation

To generate the simulation, the analysis systems and the system components were used in the Project Schematic; Figure 5 shows the scheme to achieve the analysis inside the pump.

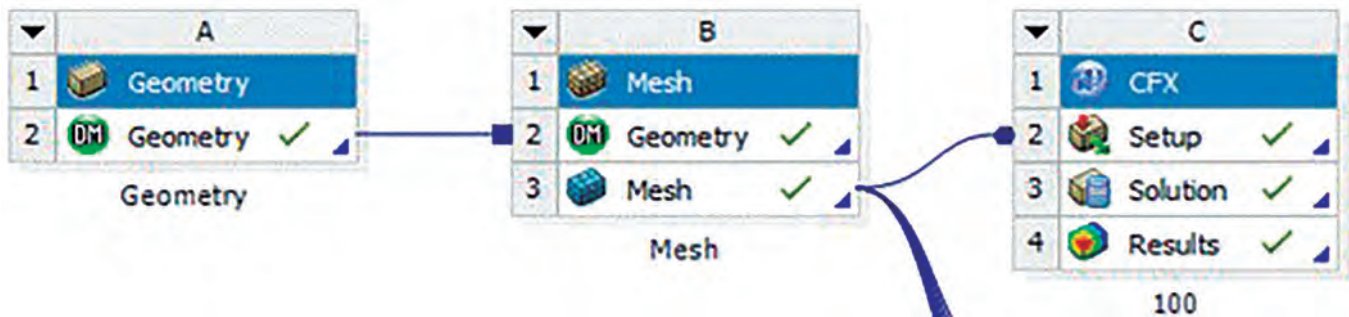


FIGURE 5. Simulation Scheme for the centrifugal pump model BSC 80/200 (130-65).
 FIGURA 5. Esquema para la simulación de la bomba centrífuga modelo BSC 80/200 (130-65).

Physical Definition of the Model

This interactive procedure was a pre-processing stage used to create the input required by the solver. The mesh files were loaded into the physics preprocessor, CFX-pre.

Once defined the domains, the boundary conditions simulating the different parts of the system (the mobile part, the fixed part and the interfaces between the different domains) were added (Figure 6).

Características del Fluido

Los cálculos que involucran este diseño tomaron en cuenta como fluido a trasegar el agua, la cual al pasar por el interior de una bomba centrífuga puede experimentar cambios de fase, de líquido a vapor y viceversa por la acción de la temperatura y la presión. Todo fluido tiene para cada temperatura una presión de saturación de vapor, el agua a 25 °C tiene las propiedades que se muestran en la Tabla 2 y una presión de saturación de 0,03166 bar (Mataix, 1986).

Consideraciones para el análisis CFD

La Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) se basa en la utilización de métodos numéricos para resolver las ecuaciones que describen la conservación de la masa, el momento y la energía de un fluido. Existen varios programas informáticos de cálculos para la simulación numérica de fluidos. Estos requieren de potentes ordenadores, con los cuales muchas veces no se cuenta, por lo que para este análisis se empleó el complemento de cálculo nombrado ANSYS CFX (Yao *et al.*, 2016; Domagała y Momeni, 2017).

Esquema para la simulación

Para generar la simulación se utilizaron los sistemas de análisis y los componentes del sistema en el Project Schematic, en la Figura 5 se muestra el flujo de trabajo para lograr el análisis en el interior de la bomba.

Definición física del modelo

Este proceso interactivo es una etapa del pre-procesado y es usada para crear la entrada requerida por el solver. Los archivos de malla son cargados en el preprocesador de física, CFX-pre.

Una vez definidos los dominios, se añadieron las condiciones de contorno que simularon las distintas partes del sistema (la parte móvil, la parte fija y las interfaces entre los diferentes dominios) (Figura 6).



FIGURE 6. Zones in which the system boundary conditions were located for the simulation of the single suction centrifugal pump model BSC 80/200 (130-65).
 FIGURA 6. Zonas en las que se ubicaron las condiciones de contorno del sistema para la simulación de la bomba centrífuga de simple succión modelo BSC 80/200 (130-65).

RESULTS AND DISCUSSION

After carrying out the simulations for the three impellers (5, 6 and 7 blades), it was possible to corroborate the main operating characteristic of this type of hydraulic machine which consists in transforming the mechanical energy (from the motor) through the speed that the impeller communicates to the fluid (figure 7a), in hydraulic energy in the volute, translated into pressure energy at the outlet of the pump (Figure 7b).

The maximum values of fluid speed, approximately $35,2 \text{ m s}^{-1}$, were found in the edge of the impeller and in the narrowest areas of the carcass, decreasing considerably in the discharge region. The pressures reached the top values in the area of the discharge flange, with $14\,690 \text{ Pa}$, results that are close to those reported by Abo Elyamin *et al.* (2019) for the same number of blades in the impeller.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efectuadas las simulaciones para los tres impelentes (5 álabes, 6 álabes y 7 álabes) se pudo corroborar la principal característica de funcionamiento de este tipo de máquina hidráulica, la cual consiste en transformar la energía mecánica (proveniente del motor) a través de la velocidad que el rodete comunica al fluido (Figura 7a), en energía hidráulica en la voluta, traducida en energía de presión a la salida de la bomba (Figura 7b).

Los valores máximos de velocidad del fluido, aproximadamente $35,2 \text{ m s}^{-1}$, se encuentran en la periferia del rodete y en las zonas más angostas de la carcasa, disminuyendo considerablemente en la región de descarga. Las presiones alcanzan los máximos valores en la zona de la brida de descarga, con $14\,690 \text{ Pa}$ resultado que se acercan a los reportados por Abo Elyamin *et al.* (2019) para igual número de álabes en el rodete.

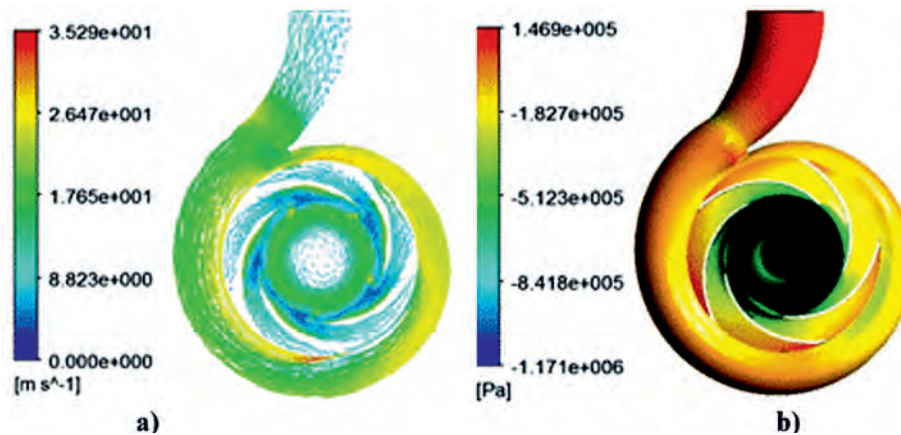


FIGURE 7. Single suction centrifugal pump model BSC 80/200 (130-65) with 5 blades. a) Speed vectors and b) Pressure boundaries.
 FIGURA 7. Bomba centrífuga de simple succión modelo BSC 80/200 (130-65) con 5 álabes. a) Vectores de velocidades y b) Contornos de presión.

In Figure 8, the pressure behavior in the three variants of impellers analyzed considering the number of blades can be observed, showing that as the number of blades increased, the low pressure area was greater, which favored that cavitation appeared. Chakraborty & Pandey (2011); Chakraborty *et al.* (2013) and Abo Elyamin *et al.* (2019), when analyzing the effect of the number of blades on the performance of centrifugal pumps found similar results.

En la Figura 8, se puede observar el comportamiento de las presiones en las tres variantes de rodetes analizados respecto al número de álabes, apreciándose que en la medida que incrementa el número de álabes la zona de baja presiones es mayor, lo que favorece a que aparezca la cavitación. Resultados similares fueron encontrados por Chakraborty & Pandey (2011); Chakraborty *et al.* (2013); Abo Elyamin *et al.* (2019), al analizar el efecto del número de álabes en el desempeño de bombas centrífugas.

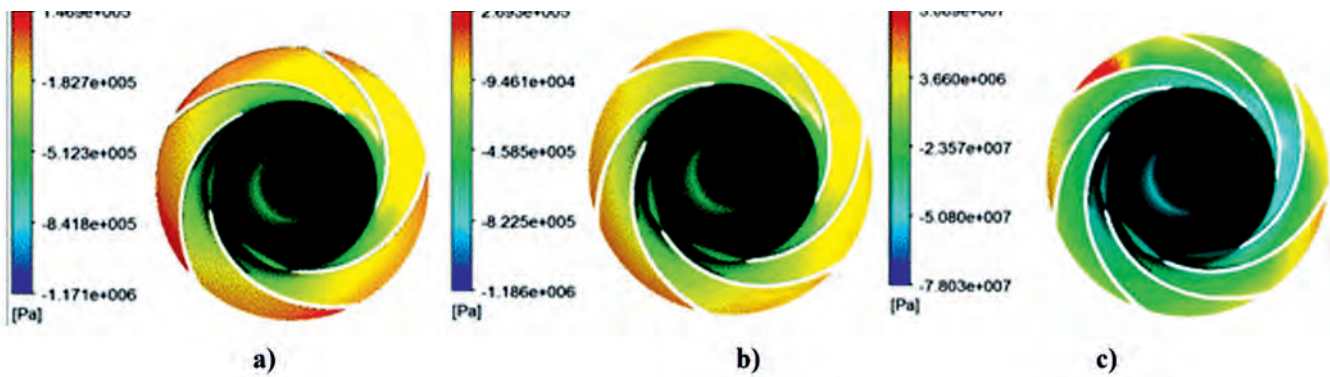


FIGURE 8. Pressure distribution in the impeller. a) 5 blades. b) 6 blades and c) 7 blades.
 FIGURA 8. Distribución de presión en el rodete. a) 5 álabes. b) 6 álabes y c) 7 álabes.

Figure 9 shows the impeller flow direction for the three cases under study, the speed variation caused by the number of blades can be observed. The fluid friction with the pump internal walls caused a decrease in the flow speed, which caused hydraulic losses. The simulation results showed that as the number of blades increased, the speed in the impeller inlet region and the blade decreased, increasing loss by friction. Therefore, the highest speed values in this region (impeller inlet and blade) were obtained for the impeller with 5 blades (Figure 9a), the mid values for 6 blades (Figure 9b), and the lowest values for 7 blades (Figure 9c). However, for this case (7 blades) there was the possibility that zones of turbulence and recirculation might appear near the tongue (Figure 9c).

La Figura 9 muestra la dirección del flujo del impelente para los tres casos en estudio, observándose el efecto que provoca la variación del número de álabes en la velocidad. La fricción del fluido con las paredes interiores de la bomba provoca una disminución de la velocidad del flujo, causando pérdidas hidráulicas. Los resultados de la simulación muestran que en la medida que aumenta el número de álabes la velocidad en la región de entrada de rodete y el álabe disminuyen, aumentando las pérdidas por fricción. Por lo que los mayores valores de velocidad en esta región (entrada del rodete y álabe) se obtienen para un número de álabes en el rodete igual a 5 (figura 9a), los valores medios para 6 álabes (Figura 9b) y los menores valores para un número de álabes en el rodete igual a 7 (Figura 9c). Sin embargo, para este caso (7 álabes) existe la posibilidad de que aparezcan zonas de turbulencia y recirculación cerca de la lengüeta (Figura 9c).

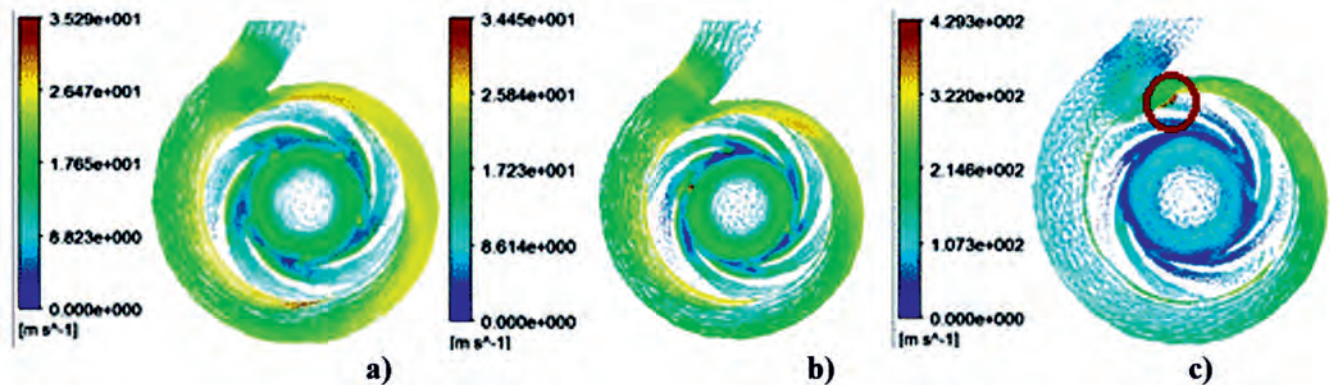


FIGURE 9. Speed vectors in the centrifugal pump. a) 5 blades. b) 6 blades and c) 7 blades.
 FIGURA 9. Vectores de velocidad en la bomba centrífuga. a) 5 álabes. b) 6 álabes y c) 7 álabes.

The results emerging from the simulation coincide with those reported by Abo Elyamin *et al.* (2019), where the highest speed values were obtained for 5 blades and the lowest ones for 7 blades. However, for 9 blades, there was a loss increase in the areas near the tongue. Result that corresponds with those obtained in the present investigation for 7 blades and may have been conditioned by the fact that the rotation frequency was higher ($3\,480\text{ min}^{-1}$) than the one used by Abo Elyamin *et al.* (2019) which was $2,800\text{ min}^{-1}$. Chakraborty & Pandey (2011) also found this last tendency with the increase in the number of blades.

Los resultados emanados de la simulación coinciden con los reportados por Abo Elyamin *et al.* (2019), donde los mayores valores de velocidad los obtuvieron para un número de álabes en el rodete igual a 5 y los menores valores de velocidad para 7 álabes. Sin embargo, para 9 álabes, se apreció un aumento en las pérdidas en las zonas cercanas la lengüeta. Resultado que coincide con los obtenidos en la presente investigación para 7 álabes y puede estar condicionado a que la frecuencia de rotación es superior ($3\,480\text{ min}^{-1}$) a la empleada por Abo Elyamin *et al.* (2019) que fue de $2\,800\text{ min}^{-1}$. Esta última tendencia también fue encontrada por Chakraborty & Pandey (2011) con el aumento del número de álabes.

Subsequently, the results of the head-flow, power-flow and efficiency-flow characteristic curves were presented, for which

Posteriormente se presentan los resultados de las curvas características altura-caudal, potencia-caudal y eficiencia-caudal,

the results of the pressure values equivalent to a range of 0 to 100% of the flow design were used.

As it can be seen in Figure 10, the correlation in all the curves was as expected, according to that reported in the literature (Pfeiderer, 1960; Church, 1987; Karassik *et al.*, 2001) and the curve offering the highest values of discharge head was that corresponding to the 7 blades impeller.

para los cual se utilizaron los resultados de los valores de presión correspondientes a un intervalo de 0 a 100 % del caudal de diseño.

Como se puede apreciar en la Figura 10, la correlación en todas las curvas es la esperada, según la reportada en la bibliografía especializada (Pfeiderer, 1960; Church, 1987; Karassik *et al.*, 2001) y la curva que ofrece mayores valores de altura de impulsión es la correspondiente al impelente de 7 álabes.

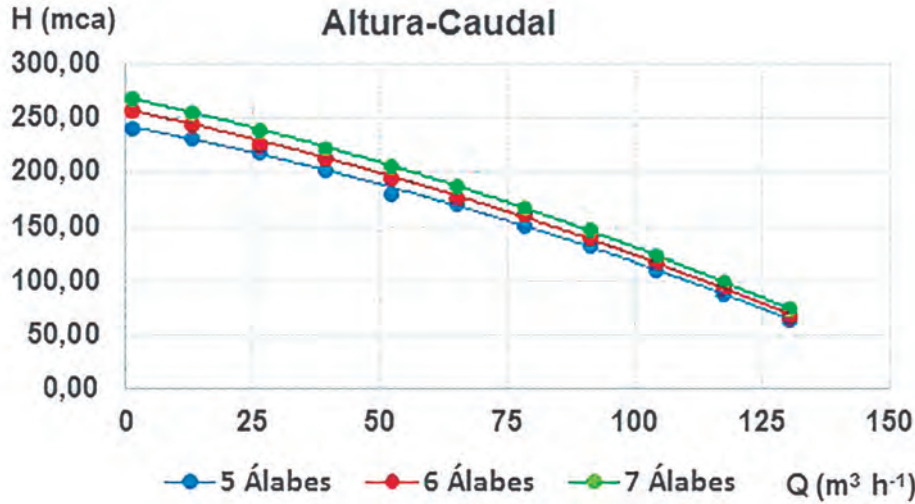


FIGURE 10. Summary of head – flow graph behavior for the three impellers.
 FIGURA 10. Resumen del comportamiento de la gráfica altura–caudal para los tres impelentes.

As it can be seen in Figure 11, the impeller that required the highest power value is the one with 7 blades. The increase in the mass of this impeller justified its higher power consumption compared to the others studied.

Como se puede apreciar en la Figura 11, el rodete que requiere de mayor valor de potencia es el rodete de 7 álabes. El incremento de la masa del impelente de 7 álabes justifica su mayor consumo de potencia con respecto a los otros impelentes estudiados.

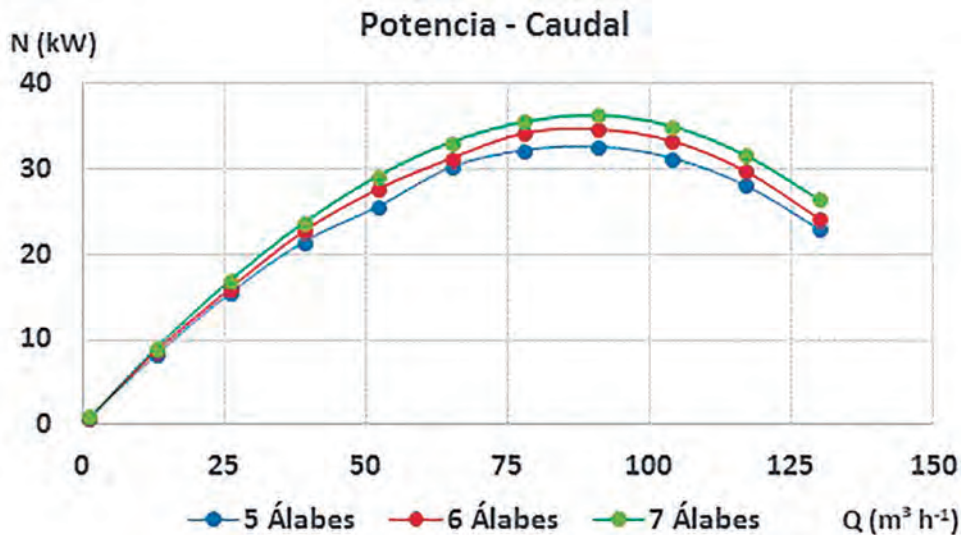


FIGURE 11. Summary of the power - flow graph behavior.
 FIGURA 11. Resumen del comportamiento de la gráfica potencia – caudal.

Figure 12 shows the efficiency-flow characteristic curves for the three impellers analyzed. It can be said that the efficiency also showed a behavior proportional to the number of blades, since in the 5 blades impeller this value was over 80%, in 6 blades it was close to 90% and in 7 blades there were already efficiencies greater than 90%.

En la Figura 12 se muestran las curvas características de eficiencia-caudal para los tres rodetes analizados. Se puede decir que la eficiencia también muestra un comportamiento proporcional al número de álabes, ya que en el impulsor de 5 álabes este valor está sobre 80%, en 6 álabes cerca del 90% y en 7 álabes ya se encuentran eficiencias superiores al 90%.

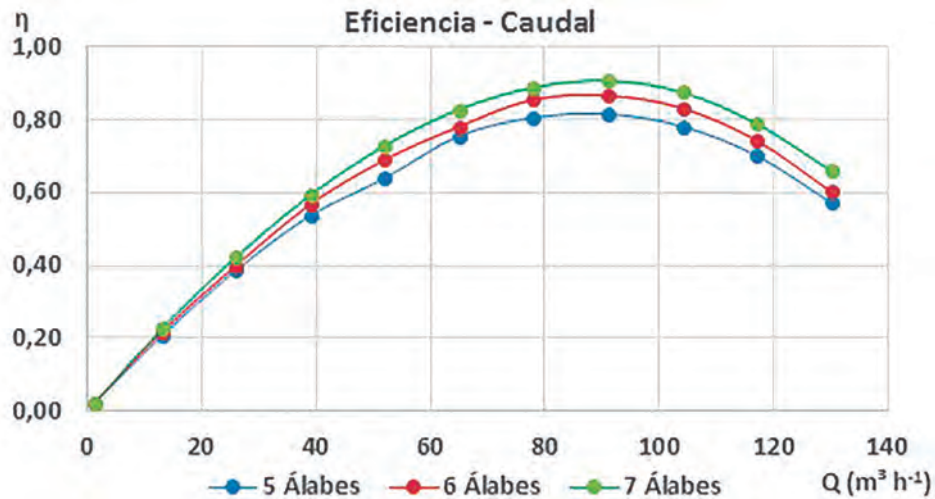


FIGURE 12. Summary of the efficiency - flow graph behavior for the 3 impellers.
 FIGURA 12. Resumen del comportamiento de la gráfica eficiencia – caudal para los 3 impelente.

CONCLUSIONS

- It was possible to obtain the three-dimensional models of the pump casing and the three impellers (5, 6 and 7 blades) with the help of the SolidWorks CAD program, from the 2D graphic information offered by the Dipropump application, which demonstrated the efficacy of its use.
- The cases studied show the effect caused by the increase in the number of blades in the impeller on the different regions of the pump. It was obtained that with the increase in the number of blades the pressure increased gradually, the losses for friction increased and the fluid speed values decreased in the areas near the inlet of the impeller and blade.
- The comparison of the results obtained through CFD simulations, taking into account the variations in the number of blades, showed that the impeller generating the best results was that of 7 blades, reaching better efficiency (90%) and power (36, 25 Kw) for a 70% of the flow design.

CONCLUSIONES

- Se logró obtener los modelos tridimensionales del cuerpo de la bomba y los tres impelentes (5 álabes, 6 álabes y 7 álabes) con ayuda del programa CAD SolidWorks, a partir de la información gráfica en 2D ofrecida por la aplicación Diprobomba, lo cual demostró la eficacia de su utilización.
- Los casos estudiados mostraron el efecto que provoca el incremento del número de álabes en el rodete sobre las diferentes regiones de la bomba, obteniéndose que con el incremento del número de álabes la presión aumenta gradualmente, aumentan las pérdidas por fricción y los valores de velocidad del fluido van decreciendo en las zonas cercanas a la entrada del rodete y álabes.
- La comparación de los resultados obtenidos mediante las simulaciones CFD atendiendo a las variaciones del número de álabes arrojó que el impelente que genera mejores resultados es el 7 álabes, alcanzando la mejor eficiencia (90%) y potencia (36,25 kW) para un 70% del caudal de diseño.

REFERENCES

- ABO ELYAMIN, G. R. H.; BASSILY, M. A.; KHALIL, K. Y.; GOMAA, M. S.: "Effect of impeller blades number on the performance of a centrifugal pump", *Alexandria Engineering Journal*, 58(1): 39-48, 2019.
- ARANIBAR, C., ALEXANDER, A.: *Determinación predictiva de la cavitación por Parámetros Sónicos*, 2016.
- CHAKRABORTY, S.; CHOUNDHURI, K.; DUTTA, P.; DEBBARMA, B.: "Performance prediction of centrifugal pumps with variation of blade number", *Journal of Scientific and Industrial Research*: 373-378, 2013.
- CHAKRABORTY, S.; PANDEY, K.: "Numerical Studies on Effects of Blade Number Variations on Performance of Centrifugal Pumps at 4000 RPM", *International Journal of Engineering and Technology*, 3: 410-416, 2011.
- CHURCH, A. H.: *Bombas y máquinas soplantes centrífugas: su teoría, cálculo, construcción y funcionamiento*, 1987.
- DOMAGAŁA, M. D. M. P. E. P. & MOMENI, H.: "CFD simulation of cavitation over water turbine hydrofoils", *Symulacje CFD Zjawiska Kawitacji Przy Opływie Profili Turbin Pływów Morskich.*, 9: 159-164, 2017.
- IANNETTI, A.; STICKLAND, M.; DEMPSTER, W.: "A CFD and experimental study on cavitation in positive displacement pumps: Benefits and drawbacks of the 'full' cavitation model", *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 10: 57-71, 2016.
- KARASSIK, I. J.; MESSINA, J. P.; COOPER, P.; HEALD, C. C.: *Pump Handbook*, Ed. McGRAW-HILL, Tercera Edición ed, 2001.
- LAI, F.; ZHU, X.; LI, G.; ZHU, L.; WANG, F.: "Numerical Research on the Energy Loss of a Single-Stage Centrifugal Pump with Different Vaned Diffuser Outlet Diameters", *Energy Procedia*, 158: 5523-5528, 2019.
- LORUSSO, M.; CAPURSO, T.; TORRESI, M.; FORTUNATO, B.; FORNARELLI, F.; CAMPOREALE, S. M.; MONTERISO, R.: "Efficient

- CFD evaluation of the NPSH for centrifugal pumps”, *Energy Procedia*, 126: 778-785, 2017.
- MÁRQUEZ, D., J. E.: *Sistema CAD para Bombas Centrifugas de una etapa y simple admisión.*, 80pp., Maestria, Centro de Estudios CAD/CAM, Universidad de Holguín, Oscar Lucero Moya, Holguín, 2002.
- MARTÍNEZ, V. Y.; RIAÑO, V. F.: “Deducción analítica de las curvas características de las bombas rotodinámicas en serie “, *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, XXXIX(1): 98-111, 2018.
- MATAIX, C.: *Mecánica de los Fluidos y Máquinas Hidráulicas*, Ed. Ediciones del Castillo, S.A, Segunda Edición ed, España, 1986.
- PFEIDERER, C.: *Bombas centrifugas y volumetricas*, Ed. Lobar S. A., Madrid. España, 1960.
- SHAH, S. R.; JAIN, S. V.; PATEL, R. N.; LAKHERA, V. J.: “CFD for Centrifugal Pumps: A Review of the State-of-the-Art”, *Procedia Engineering*, 51: 715-720, 2013.
- SHANKAR, V. K. A.; SUBRAMANIAMA, U.; SHANMUGAMB, P.; HANIGOVSKIC, N.: “A comprehensive review on energy efficiency enhancement initiatives in centrifugal pumping system”, *Applied Energy*, 181(1): 495-513, 2016.
- WANG, W.; OSMAN, M. K.; PEI, J.; GAN, X.; YIN, T.: “Artificial Neural Networks Approach for a Multi-Objective Cavitation Optimization Design in a Double-Suction Centrifugal Pump”, *Processes*, 7: 2019.
- WEIDONG, C.; LINGJUN, Y.; BING, L.; YINING, Z.: “The influence of impeller eccentricity on centrifugal pump”, *Advances in Mechanical Engineering*, 9(9): 1-17, 2017.
- YAO, Z. F.; YANG, Z. J.; WANG, F. J.: “Evaluation of near-wall solution approaches for large-eddy simulations of flow in a centrifugal pump impeller”, 10: 454-467, 2016.

Isidro Antonio Martínez-Blanco, Prof. Instructor, Universidad de Granma, Facultad de Ciencias Técnicas, Dpto. de Ingeniería Mecánica, Carretera a Manzanillo km 17 ½, Peralejo-Apartado 21–Bayamo, M. N. Código Postal: 85149. Provincia Granma, Cuba, e-mail: imartinezb@udg.co.cu ORCID Id: <https://orcid.org/0000-0001-8486-1892>

Alain Ariel de la Rosa-Andino, Prof. Titular, Universidad de Granma, Facultad de Ciencias Técnicas, Dpto. de Ingeniería Mecánica, Carretera a Manzanillo km 17 ½, Peralejo-Apartado 21– Bayamo, M. N. Código Postal: 85149. Provincia Granma, Cuba, e-mail: arosaa@udg.co.cu ORCID Id: <https://orcid.org/0000-0001-6593-8583>

Yusimit Karina Zamora-Hernandez, Prof. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Dpto. de Ingeniería Mecánica, Quevedo, Ecuador., e-mail: yzamorah@uteq.edu.ec ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0112-0161>

Idalberto Macías-Socarrás, Prof., Universidad Estatal Península de Santa Elena, Avenida Principal La Libertad-Santa Elena, La Libertad, Ecuador, imacias@upse.edu.ec ORCID Id: <https://orcid.org/0000-0003-3512-7098>

René Misael Arias-Hidalgo, Prof. Instructor, Universidad de Granma, Facultad de Ciencias Técnicas, Dpto. de Ingeniería Mecánica, Carretera a Manzanillo, Provincia Granma, Cuba, e-mail: arosaa@udg.co.cu ORCID Id: <https://orcid.org/0000-0002-9661-1214>

Laida Figueroa-Rodríguez, Prof. Asistente, Universidad de Granma, Facultad de Humanidades, Manzanillo, Granma, Cuba, e-mail: lfigueroar@udg.co.cu ORCID Id: <https://orcid.org/0000-0002-2638-7536>

The authors of this work declare no conflict of interests.

This item is under license Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

The mention of trademarks of specific equipment, instruments or materials is for identification purposes, there being no promotional commitment in relation to them, neither by the authors nor by the publisher.

FACILIDADES PARA PUBLICAR CONTRIBUCIONES EN REVISTAS CIENTÍFICAS

Si desean que su trabajo se publique en las revistas Ciencias Técnicas Agropecuarias (RCTA), Ingeniería Agrícola (IA) o Gestión del Conocimiento y desarrollo local , deben revisar en el sitio WEB www.unah.edu.cu las normas editoriales y contactar con los directores de las publicaciones.

CJAS: www.cjascience.com, Directora Editorial: Dra. Sandra Lok Mejías slok@ica.co.cu

Pastos y Forrajes: <https://payfo.ihatuey.cu> / <http://www.ihatuey.cu>, Editor Jefe: Dr. Osme! Alonso Amaro osmel@ihatuey.cu

Si desea publicar en revista técnico popular contactar con: Casa Editorial ACPA. Director. Jorge Luis Álvarez Calvo, revista@acpa.cu