



<https://eqrcode.co/a/ZZSK0C>

REVIEW | REVISIÓN

Computational Fluid Dynamics: Review and Analysis of Applications in Engineering

Dinámica de Fluido Computacional: Revisión y análisis de las aplicaciones en la ingeniería

Ing. Yusniel Cruz Gavilan^I; Dr.C. Pedro A. Valdés Hernández^{III}; MSc. Alexander Laffita Leyva^{II}; MSc. María Victoria Gómez Águila^{III}; Ing. Carmen María Chuairey^{II}

^IEmpresa de Beneficio y Acopio del Tabaco Minas, MINAG, Pinar del Río, Cuba.

^{II}Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

^{III}Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, Chapingo, Texcoco, México.

ABSTRACT. At present, with the development of professional tools such as SOLIDWORKS, ANSYS, the fields of application of simulation have significantly increase, especially, Computational Fluid Dynamics (CFD) in engineering. The objective of the work was to make a review and analysis of the applications of the Computational Fluid Dynamics, in the field of Engineering, but with greater emphasis in Agricultural Engineering. The analysis shows the high performance of Computational Fluid Dynamics in Engineering in general and in specific areas like thermo mechanical equipment, electrical equipment and installations, electronic equipment and assemblies in industrial and building ventilation, turbo machinery, automobile and agricultural machinery and greenhouse industry. Three fundamental application fields are identified: simulation of the equipment mentioned with the purpose of achieving operation parameters and more rational designs, improvement in the design and structure of equipment, provided the possibility of evaluating a wide diversity of design options and simulation of processes, with or without phase transitions, solid-fluid interactions, among others. The investigations carried out belong to the field of Agricultural Engineering, theoretical analysis and finite elements of load losses in a central pivot irrigation system, centrifugal pumps, effect of wind on the air flow of agricultural sprayers and climate in greenhouses.

Keywords: agricultural engineering, process simulation, rational design.

RESUMEN: El desarrollo de las herramientas profesionales como el SOLIDWORKS, ANSYS, han permitido incrementar significativamente los campos de aplicación de la simulación y especialmente la Dinámica de Fluido Computacional (CFD) en las ingenierías. El objetivo del trabajo consistió en *Realizar una revisión y análisis de las aplicaciones de la Dinámica de Fluido Computacional, en el campo de las Ingenierías, pero haciendo mayor énfasis en la Ingeniería Agrícola.* En el análisis se exponen las prestaciones de la Dinámica de Fluido Computacional en la Ingeniería en general, como son: en los equipos termomecánicos; equipos e instalaciones eléctricas; equipos y conjuntos electrónicos; en ventilación industrial y de edificios; en turbomaquinaria; en la industria del automóvil y de la maquinaria agrícola e invernaderos. Se identifican tres campos de aplicación fundamentales: simulación de dichos equipos, con el fin de lograr parámetros de operación y diseños más racionales; mejoras en el diseño y estructura de equipos, al poder evaluar un amplio abanico de opciones de diseño y simulación de procesos, con o sin transiciones de fase, interacciones sólido-fluido, entre otras. En cuanto a las investigaciones realizadas se destacan en relación con la Ingeniería Agrícola, el análisis teórico y por elementos finitos de las pérdidas de carga en un sistema de riego de pivote central; en bombas centrifugas; el efecto del viento en el flujo de aire de pulverizadores agrícolas y estudios del clima en invernaderos.

Palabras clave: ingeniería agrícola, simulación de procesos, diseño racional.

¹Author for correspondence: Arturo Ocampo-RamirezI, e-mail: arturo.ocampo@gruposscc.com

Received: 12/12/2019.

Approved: 25/09/2020.

INTRODUCTION

The development of the advanced systems CAD, has allowed increasing the fields of application of Engineering of Simulation and, especially, Computational Fluid Dynamics (CFD). This method constitutes one of the branches of Mechanics of Fluids that uses numeric methods and algorithms to solve and to analyze problems on the flow of fluids. The fact that CFD has been developed later than other CAD, as those used for the analysis of thermal tensions, is due to the inherent difficulties that are presented in the equations that describe the flow of fluids. Nowadays, with the enormous possibilities of computers and the development of numeric methods, CFD is becoming a very practical and efficient tool for the analysis of situations that involve flowing and, consequently, in an invaluable analysis tool and design. The computers are used to carry out millions of calculations required to simulate the interaction of liquids and gases with complex surfaces projected by Engineering. All this means that CFD should no longer be contemplated as a tool used in universities and investigation centers by highly qualified specialists, but rather it is already used in numerous industries. Even with simplified equations and supercomputers of high yield, only approximated results can be reached in many cases. The continuous investigation, however, allows the software incorporation that increases the calculation speed and diminishes the error margin, at the time that allows analyzing more and more complex situations as transonic fluids and turbulent flows. The verification of the data obtained by CFD is usually carried out in tunnels of wind or other physical models to scale. This method discretizes a region of the space, creating what is known as a space mesh and dividing a region of the space in small control volumes. After that, the equations of conservation discretized are solved in each one of them, in the same way that an algebraic womb is solved in each cell in the reality in an iterative way until the residual is sufficiently small, according to Fujun (2004).

At national and international levels, multiple investigations related to CFD have been developed, among them are those carried out by Toneva *et al.* (2011), Chuanzhong *et al.* (2012) and Lisowski *et al.* (2012), that developed a hammer mill with sieve devices and the characterization of the flow in a phase, during the milling in a classifier mill of air. They also studied the movement of the material cut in the discharge outlet of the forage harvester with cutting unit of steering wheel, for mensuration with corn and numeric simulation, respectively. Also Coussirat *et al.* (2012), study by means of CFD the interaction rotor-stator in a centrifugal bomb with diffusor. Similarly, Lisiuk *et al.* (2007), carry out a theoretical analysis and for finite elements of load losses in an irrigation system of central pivot and Salcedo *et al.* (2017) introduce the computational fluid dynamics in the analysis of flows between porous. Finally, García *et al.* (2018) evaluate the process of sedimentation of discrete particles in turbulent flow.

On the other hand, Herrera *et al.* (2006, 2012, 2013, 2014, 2015) and Endalew *et al.* (2010), carry out investigations on the modelation and simulation by means of computational fluid dynamics of the current of air of a sprayer, analyzing the

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de los sistemas CAD avanzados, ha permitido incrementar los campos de aplicación de la Ingeniería de Simulación y especialmente la Dinámica de Fluido Computacional (CFD). Este método constituye una de las ramas de la mecánica de fluidos que utiliza métodos numéricos y algoritmos para resolver y analizar problemas sobre el flujo de fluidos. El hecho de que la CFD se haya desarrollado más tarde que otros CAD, como los utilizados para el análisis de tensiones térmicas, es debido a las dificultades inherentes que se presentan en las ecuaciones que describen el flujo de fluidos. Hoy en día, con las enormes posibilidades de los ordenadores y los desarrollos de los métodos numéricos, la CFD se está convirtiendo en una herramienta muy práctica y eficiente para el análisis de situaciones en las que estén involucrados fluidos y por consiguiente, en una inestimable herramienta de análisis y diseño. Los ordenadores son utilizados para realizar millones de cálculos requeridos para simular la interacción de los líquidos y los gases con superficies complejas proyectadas por la ingeniería. Todo esto significa que la CFD ya no debe contemplarse como una herramienta utilizada en universidades y centros de investigación por especialistas altamente calificados, sino que es ya empleada en numerosas industrias. Aun con ecuaciones simplificadas y superordenadores de alto rendimiento, solo se pueden alcanzar resultados aproximados en muchos casos. La continua investigación, sin embargo, permite la incorporación de software, que aumenta la velocidad de cálculo, así como disminuye el margen de error, al tiempo que permite analizar situaciones cada vez más complejas como los fluidos transónicos y los flujos turbulentos. La verificación de los datos obtenidos por CFD suele ser realizada en túneles de viento u otros modelos físicos a escala. Dicho método discretiza una región del espacio creando lo que se conoce por una malla espacial, dividiendo una región del espacio en pequeños volúmenes de control. Después se resuelve en cada uno de ellos las ecuaciones de conservación discretizadas, de la misma forma que en la realidad se resuelve una matriz algebraica en cada celda de forma iterativa hasta que el residuo es suficientemente pequeño, según Fujun (2004).

A nivel nacional e internacional se han desarrollado múltiples investigaciones relacionadas con la CFD, dentro de las cuales se presentan las realizadas por Toneva *et al.* (2011); Chuanzhong *et al.* (2012) y Lisowski *et al.* (2012), que realizan desarrollo de un molino de martillo con dispositivos de tamizado o cribas; la caracterización del flujo en una fase, durante el molinado en un molino clasificador de aire; el movimiento del material picado en la boquilla de descarga de la cosechadora de forraje con unidad de corte de volante, para mediciones con maíz y simulación numérica, respectivamente. Además Coussirat *et al.* (2012), realiza estudio mediante CFD de la interacción rotor-estator en una bomba centrífuga con difusor, así como Lisiuk *et al.* (2007), realiza un análisis teórico y por elementos finitos de las pérdidas de carga en un sistema de riego de pivote central; Salcedo *et al.* (2017), introduce la dinámica de fluidos computacional en el análisis de flujos en medio poroso y García *et al.* (2018), evalúa el proceso de sedimentación de partículas discretas en flujo turbulento.

Por otro lado, Herrera *et al.* (2006, 2012, 2013, 2014, 2015) y Endalew *et al.* (2010), realizan investigaciones sobre la modelación y simulación mediante la dinámica de flujo computacional de la

effect of the speed of the wind in the functioning of agricultural sprayers of fan. In addition, they analyze the aerodynamics of the sprayer fan ASS-800 used in fruit crops.

During the revision carried out it was verified that there are not works related with the application of the CFD in forage harvesters. Therefore, the objective of this work was to carry out a revision and analysis of the applications of Computational Fluid Dynamics, in the field of Engineering, but making bigger emphasis in Agricultural Engineering. It searched for establishing the necessary approaches for the diversification of their use in Agricultural Engineering, for their application in the improvement of a design of the discharge tower of one forage harvester. This work is associated to the investigation project titled "*Development of a module of machines for the production of animal food from different cultivations*", which belongs to the National Program of Animal Food.

DEVELOPMENT OF THE TOPIC

Possible Applications of Computational Fluid Dynamics (CFD)

CFD can be very useful in a wide spectrum of industries and it can represent a powerful help to the engineer of design, production and even of maintenance. It is being used in sectors so varied as the chemical, aerospace industry, metallurgical, electric, of metallic transformed etc.. It is also broadly used in the study of buildings, to predict the movement of air and comfort, as well as to analyze water heater - fluidic phenomena in the environment, such as dispersion of pollutants in the atmosphere, or of pouring in the rivers. Three the types of problems can be basically solved with that methodology, according to Barazal & Sala (2019),:

1. Simulation of an existent equipment, with the purpose of evaluating changes in their operation or in their design (energy savings, improvements in the quality of the product, environmental improvements), or to diagnose operational problems.
2. Improvements in the equipment design, being able to evaluate a great variety of design options, to increase in this way, the possibilities for the technological innovation.
3. Simulation of processes, with or without phase transitions, interactions solid-fluid, etc.

Applications of CFD in Thermo Mechanical Equipment

The existent software of Computational Fluid Dynamics can be used for the numeric simulation of processes of fluid flow, blended, combustion, transport of heat and mass, etc.

The main applications of the CFD in equipment and systems are:

1. Diagnoses with prediction of flows of heat, fields of speeds and temperatures in conduits of gases, pipes of liquids and changers of heat.
2. Diagnoses with prediction of flows of heat, fields of speeds and temperatures in combustion cameras, boilers and ovens.

corriente de aire de un pulverizador, analizando el efecto de la velocidad del viento en el desempeño de los pulverizadores agrícolas de ventilador, por otro lado, además realizan análisis de la aerodinámica del ventilador del pulverizador ASS-800 empleado en frutales.

Durante la revisión realizada se pudo constatar que no existen trabajos relacionados con la aplicación de la CFD en las maquinas picadoras de forraje, por tanto se presenta como objetivo: *Realizar una revisión y análisis de las aplicaciones de la Dinámica de Fluido Computacional, en el campo de las Ingenierías, pero haciendo mayor énfasis en la Ingeniería Agrícola*, estableciendo los criterios necesarios para la diversificación de su empleo en la ingeniería agrícola, para su aplicación en el perfeccionamiento del diseño de la torre de descarga de una maquina picadora de forraje; este trabajo se encuentra asociado al proyecto de investigación titulado: *Desarrollo de un módulo de máquinas para la producción de alimento animal a partir de diferentes cultivos*, perteneciente al Programa Nacional de Alimento Animal.

DESARROLLO DEL TEMA

Posibles aplicaciones de la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD)

La CFD puede ser muy útil en un amplio espectro de industrias y puede representar una poderosa ayuda al ingeniero de diseño, de producción e incluso de mantenimiento. Se está utilizando en sectores tan variados como la industria química, aeroespacial, metalúrgica, eléctrica, de transformados metálicos, etc. Es también ampliamente utilizada en el estudio de edificios, para predecir el movimiento de aire y el confort, así como para analizar fenómenos termo - fluidicos en el medioambiente, como dispersión de contaminantes en la atmósfera, o de vertidos en los ríos, según Barazal y Sala (2019), básicamente son tres los tipos de problemas que se pueden resolver:

1. Simulación de un equipo existente, con el fin de evaluar cambios en su operación o en su diseño (ahorros de energía, mejoras en la calidad del producto, mejoras medioambientales), o para diagnosticar problemas operacionales.
2. Mejoras en el diseño de equipos, pudiéndose evaluar un amplio abanico de opciones de diseño, incrementándose así las posibilidades para la innovación tecnológica.
3. Simulación de procesos, con o sin transiciones de fase, interacciones sólido-fluido, etc.

Aplicaciones de la CFD en equipos termomecánicos

El software existente de Dinámica de Fluidos Computacional puede ser utilizado para la simulación numérica de los procesos de flujo de fluidos, mezclado, combustión, transporte de calor y masa, etc.

Las principales aplicaciones de la CFD en equipos y sistemas son:

1. Diagnósticos con predicción de flujos de calor, campos de velocidades y temperaturas en conductos de gases, tuberías de líquidos y cambiadores de calor.
2. Diagnósticos con predicción de flujos de calor, campos de velocidades y temperaturas en cámaras de combustión, calderas y hornos;

3. Analysis of flows in fans, separators, etc.
4. Design of components of plants of treatment for residual waters and clean waters.
5. Design of burners in general, burners of low NO_x, valves and other auxiliary equipment.

Applications of CFD in Equipment and Electric Installations

It allows determining the fields of temperature and flows of heat with the purpose of optimizing the evacuation of heat in equipment, nets, spread and squares, as well as determining the repercussions derived from them. Its main fields of application are:

1. Electric squares and control closets and control.
2. Motors and alternators, with the possibility of a detailed knowledge of the flow of air, thermal balance and efficiency of the cooling of the machine.
3. Design of the system of ventilation of CT and local with high density of wiring and electric apparatuses.
4. Advising in thermal aspects in the design of equipment and electric installations.
5. Electric lines with responsibility.

Applications of CFD in Electronic Equipment and Assemblies

CFD is utilized to determine the fields of temperature and flows of heat, with the purpose of optimizing the evacuation of the heat in equipment and electronic components, as well as to value the repercussions derived from them, especially on the operation and duration. Its main applications are:

1. Studies of thermal fatigue of materials.
2. Control of noise and vibrations.
3. Ventilation of rooms of communications and wiring.
4. Consultancy in the design of systems of cooling of equipment and electronic components.

Applications of CFD in Industrial and Building Ventilation

CFD allows carrying out the analysis and simulation of the distribution of the air and its pollutants in commercial and residential buildings and in ships and industrial pavilions. Its main applications in this field are:

1. Design of ventilation systems.
2. Definition of the flow of air in the rooms and optimization of the disposition of the diffusers.
3. Studies of movement of the smoke in the event of fires and evaluation of the evacuation systems.
4. Studies of fire propagation and design of system against fires.
5. Advising in ventilation projects, heating and conditioned air.
6. Determination of the environmental contamination in the place of work.
7. Designing ventilation systems for machine rooms.
8. Definition of the quality of the interior air.

3. Análisis de flujos en ciclones, separadores, etc.
4. Diseño de componentes de plantas de tratamiento de aguas residuales y aguas limpias.
5. Diseño de quemadores en general, quemadores de bajo NO_x, válvulas y otros equipos auxiliares.

Aplicaciones de la CFD en equipos e instalaciones eléctricas

Permite determinar los campos de temperatura y flujos de calor, con el fin de optimizar la evacuación de calor en equipos, redes, tendidos y cuadros, así como determinar las repercusiones que de ello se derivan. Los campos principales de aplicación son:

1. Cuadros eléctricos y armarios de mando y control;
2. Motores y alternadores, con la posibilidad de un conocimiento detallado del flujo de aire, del balance térmico y de la eficiencia del enfriamiento de la máquina;
3. Diseño del sistema de ventilación de CT y locales con alta densidad de cableado y aparatos eléctricos;
4. Asesoramiento en los aspectos térmicos en el diseño de equipos e instalaciones eléctricas;
5. Líneas eléctricas con responsabilidad.

Aplicaciones de la CFD en equipos y conjuntos electrónicos

La CFD es empleada para determinar los campos de temperatura y flujos de calor, con el fin de optimizar la evacuación del calor en equipos y componentes electrónicos, así como para valorar las repercusiones que de ello se derivan, especialmente en el funcionamiento y duración. Las aplicaciones principales son:

1. Estudios de la fatiga térmica de los materiales;
2. Control de ruido y vibraciones;
3. Ventilación de salas de comunicaciones y de cableado;
4. Consultoría en el diseño de sistemas de enfriamiento de equipos y componentes electrónicos.

Aplicaciones de la CFD en ventilación industrial y de edificios

La CFD permite realizar el análisis y simulación de la distribución del aire y sus contaminantes, tanto en edificios comerciales y residenciales como en naves y pabellones industriales. Las principales aplicaciones en este campo son:

1. Diseño del sistema de ventilación;
2. Definición del flujo de aire en las habitaciones y optimización de la disposición de los difusores;
3. Estudios de movimiento del humo en caso de incendios y evaluación de los sistemas de evacuación;
4. Estudios de propagación de fuego y diseño del sistema contraincendios;
5. Asesoramientos en proyectos de ventilación, calefacción y aire acondicionado;
6. Determinación de la contaminación ambiental en el puesto de trabajo;
7. Diseño del sistema de ventilación de salas de máquinas;
8. Definición de la calidad del aire interior.

Applications of CFD in Turbo Machinery

The software of CFD is used to analyze the flow of liquid, gas or vapor in its movement through the blades and the different components of the turbo machine to diagnose operational problems or to improve its design. Among the main application fields are:

1. Optimized designs of pumps, considering the flow in 3D under non nominal conditions, with visualization of the cavitation areas.
2. Design of small hydraulic turbines, keeping in mind in each case their particular demands.
3. Improvements in the designs of turbines of vapor, optimizing the geometry of the blades, as well as of the carcasses, labyrinth closings.
4. Design of centrifugal and axial compressors.

Applications of CFD in Automobile Industry

CFD allows a direct access to data that cannot be measured directly, as well as to a visualization of the transitory structures of the flow. All that facilitates an analysis of the proposed modifications, before carrying out the project. The most interesting applications in this sector are:

1. External aerodynamics.
2. Ventilation system.
3. Refrigeration of the motor.
4. Valves.
5. Escape system.
6. Refrigeration of the controls.
7. Filters.

To these applications referred by the authors mentioned, their employment in agricultural machinery with similar possibilities to the automobile industry should be added, incorporating the equipment and agricultural implements with the usage of fluids in its technological process.

Analysis of Developed Investigations Applying CFD in Engineering

Several investigations have been carried out in this field. Lisiuk *et al.* (2007), make a theoretical analysis and for finite elements of the load losses in an irrigation system of central pivot with swan neck. In Figure 1a, speeds in this system of watering are shown in a detailed way. There, it is possible to observe that the flow accelerates when entering to the conduit on the front base, while an area of low speed takes place in the anterior part of the neck base. This gradient of speeds produces a concentration of viscous effects generating big load losses in the entrance area of the swan neck, the profile of speeds in traverse form in that area. It is significant that in a small section of 1,9 cm, the speed varies between 0,2 to 1,2 m/s. It is also relevant that the profile of speeds in the exit of the swan neck is not uniform, but rather it is displaced toward the external wall.

In Figure 1b, the distribution of pressures is appreciated along the whole conduit. It is noticed that a small area of high pressure when the flow impacts on the entrance border of the swan neck. In turn, it is observed how a center of low pressure

Aplicaciones de la CFD en turbomáquinas

Se utiliza el software de CFD para analizar el flujo de líquido, gas o vapor a su paso a través de los álabes y de los diferentes componentes de la turbo máquina, con el fin de diagnosticar problemas operacionales o conseguir mejoras en el diseño. Entre los principales campos de aplicación podemos citar:

1. Diseños optimizados de bombas, considerando el flujo en 3D en condiciones no nominales, con visualización de las zonas de cavitación;
2. Diseño de pequeñas turbinas hidráulicas, teniendo en cuenta en cada caso sus particulares exigencias;
3. Mejoras en los diseños de turbinas de vapor, optimizando la geometría de los álabes, así como de la carcasa, cierres de laberinto;
4. Diseño de compresores centrífugos y axiales.

Aplicaciones de la CFD en la industria del automóvil

La CFD permite un acceso directo a datos que no se pueden medir directamente, así como a una visualización de las estructuras transitorias del flujo. Todo ello posibilita un análisis de las modificaciones propuestas, antes de realizar el proyecto. Las aplicaciones más interesantes en este sector son:

1. Aerodinámica externa;
2. Sistema de ventilación;
3. Refrigeración del motor;
4. Válvulas;
5. Sistema de escape;
6. Refrigeración de los frenos;
7. Filtros.

En estas aplicaciones expuestas por el autor antes mencionado, se debe incorporar su empleo también en las maquinas agropecuarias con las posibilidades muy similares a la industria automovilística, incorporando los equipos e implementos agrícolas con empleo de fluidos en su proceso tecnológico.

Análisis de investigaciones desarrolladas aplicando la CFD en la ingeniería

Varias investigaciones han sido realizadas en este campo, según Lisiuk *et al.* (2007), hace un análisis teórico y por elementos finitos de las pérdidas de carga en un sistema de riego de pivote central con cuello de cisne, según la Figura 1a, que se muestran las velocidades en dicho sistema de riego de forma más detallada. En la misma, el flujo se acelera al entrar al conducto sobre la base frontal, mientras se produce una zona de baja velocidad en la parte anterior de la base del cuello, este gradiente de velocidades produce una concentración de efectos viscosos generando grandes pérdidas de carga en la zona de entrada del cuello de cisne, el perfil de velocidades en forma transversal en esa zona, nótese como en una pequeña sección de 1,9 cm, la velocidad varía entre 0,2 a 1,2 m/s. Además, se destaca que el perfil de velocidades en la salida del cuello de cisne no es uniforme, sino que se encuentra desplazado hacia la pared externa.

En la Figura 1b se aprecia la distribución de presiones a lo largo de todo el conducto. Se puede ver una pequeña zona de alta presión cuando el flujo incide sobre el borde de la entrada del cuello de cisne, a su vez cómo se produce un centro de baja

takes place in the anterior part of the neck entrance, area of removed flow, transforming, in this area, pressure energy in kinetic energy. The pressures increase toward the external face of the neck curve due to the centrifugal efforts.

presión en la parte anterior de la entrada del cuello, zona de flujo desprendido, transformándose en dicha zona energía de presión en energía cinética, ver como las presiones aumentan hacia la cara externa de la curva del cuello debido a los esfuerzos centrífugos.

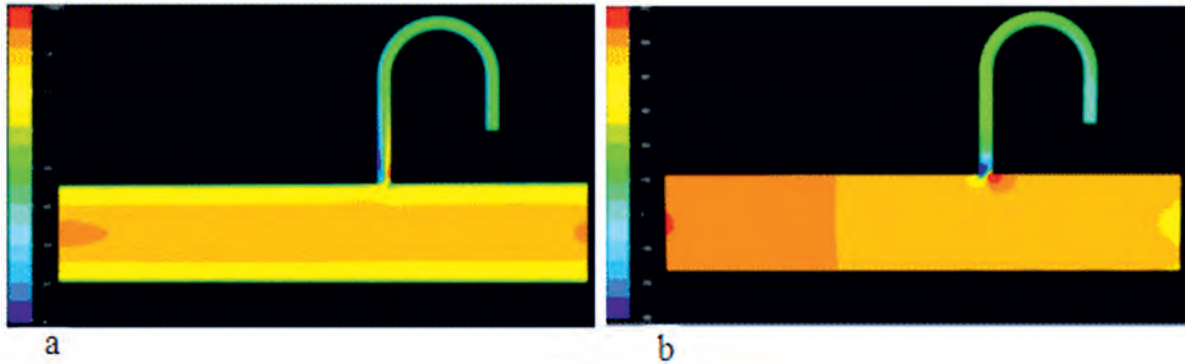


FIGURE 1. Irrigation system of central pivot with swan neck. a) Complete 3D Speeds b) 3D simulation of pressures distribution
 FIGURA 1. Sistema de riego de pivote central con cuello de cisne. a) Velocidades 3D completa y b) Distribución de presiones simulación 3D.

Oro (2012) and Rubiano (2018), carry out investigations applying CFD in centrifugal pumps. These authors develop the interaction rotor-stator in a centrifugal pump with and without diffuser, with their rational design and aimed at identifying and studying the possible amplification of pressure fluctuations inside the machine (RSI). In Figure 2, the application of CFD in centrifugal pumps is shown. a) Static pressure in the bun and area of the water-cutter (nominal flow) b) Distribution of pressure.

Oro (2012) y Rubiano (2018), realizan sendas investigaciones aplicando la CFD en bombas centrífugas. Desarrollando la interacción rotor-estator en una bomba centrífuga sin y con difusor, con su diseño óptimo, con el fin de identificar y estudiar la posible amplificación de las fluctuaciones de presión dentro de la máquina (RSI). En la Figura 2 se muestra la aplicación de la CFD en bombas centrífugas. a) Presión estática en el rodete y zona del corta-agua (caudal nominal) b) Distribución de presión.

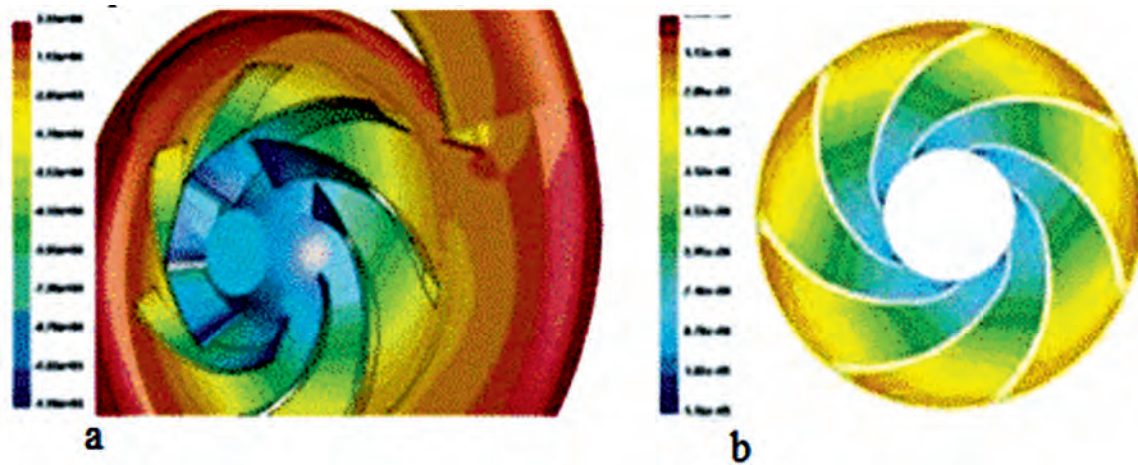


FIGURE 2. Application of CFD in centrifugal pumps. a) Static pressure in the bun and area of the water-cutter (nominal flow), b) Distribution of pressure.

FIGURA 2. Aplicación de la CFD en bombas centrífugas. a) Presión estática en el rodete y zona del corta-agua (caudal nominal), b) Distribución de presión.

Herrera *et al.* (2006, 2012, 2013, 2014, 2015), carry out investigations on the modelation and simulation by means of the computational fluid dynamics of the air current of sprayers. These authors analyze the effect of the wind speed in the acting of the agricultural sprayers of fan. On the other hand, they also carry out analysis of the aerodynamics of the fan of the sprayers ASS-800 used in fruit-bearing. The profile of speed oscillated from 4 to 34 m/s.

Herrera *et al.* (2006, 2012, 2013, 2014, 2015), realizan investigaciones sobre la modelación y simulación mediante la dinámica de flujo computacional de la corriente de aire de un pulverizador, analizando el efecto de la velocidad del viento en el desempeño de los pulverizadores agrícolas de ventilador, por otro lado, además realizan análisis de la aerodinámica del ventilador del pulverizador ASS-800 empleado en frutales. El perfil de velocidad osciló de 4 a 34 m/s.

In Figure 3, the modeling air current by computational fluid dynamics in the program ANSYS 5.3 is shown. There,

En la Figura 3, se muestra la corriente de aire modelada por dinámica de fluidos computacional en el programa ANSYS 5.3,

it is shown that at the distance of 0,8 m of the exit of the fan, a small deviation of the current occurs, this is due to the non-uniformity in the distribution of air speed at the exit of the fan. The speed is concentrated on a cone from 0,8 to 1,6 m of maximum longitude, the cone wears away, being this a transition area where the speed distribution is Gaussian. When surpassing the 1,6 m of distance, it rectifies the direction and the wearing of the central cone of speed of the current finishes and it presents another profile type.

en la misma se muestra que a la distancia de 0,8 m de la salida del ventilador, ocurre una pequeña desviación de la corriente, esto se debe a la no uniformidad en la distribución de la velocidad del aire a la salida del ventilador, la velocidad se encuentra concentrada en un cono de 0,8 a 1,6 m de longitud máxima, que el cono se desgasta, siendo esta una zona de transición donde la distribución de la velocidad es gaussiana. Al sobrepasar los 1,6 m de distancia esta rectifica la dirección y termina el desgaste del cono central de velocidad de la corriente, presentando esta, otro tipo de perfil.

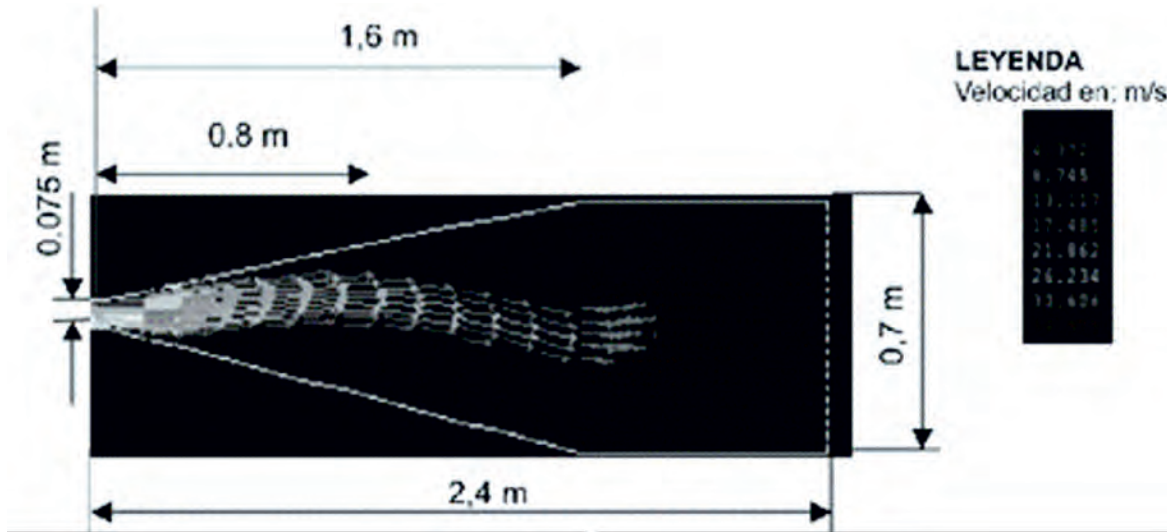


FIGURE 3. Distribution of speeds of the sprayers HATSUTA 420 modeled in CFD.
 FIGURA 3. Distribución de velocidades del pulverizador HATSUTA 420 modelada en CFD.

In Figure 4, the graphs of the air current are observed. They were modeled in CFD for the different work regimes to study. In graph (a), the sprayers without movement and from graph (b) to (d), the spraying machine to a speed of 3,6 km/h and a wind of speed 5 m/s in direction contrary to the movement of the sprayer, forming angles of 30°, 45° and 60° with regard to this, respectively.

En la Figura 4 se observan las gráficas de la corriente de aire modeladas en CFD para los distintos regímenes de trabajo a estudiar; en la gráfica (a) el pulverizador sin movimiento y de la (b) a la (d) la maquina pulverizadora a una velocidad de 3,6 km/h y un viento de velocidad 5 m/s en dirección contraria al movimiento del pulverizador, formando ángulos de 30°, 45° y 60° con respecto a este, respectivamente.

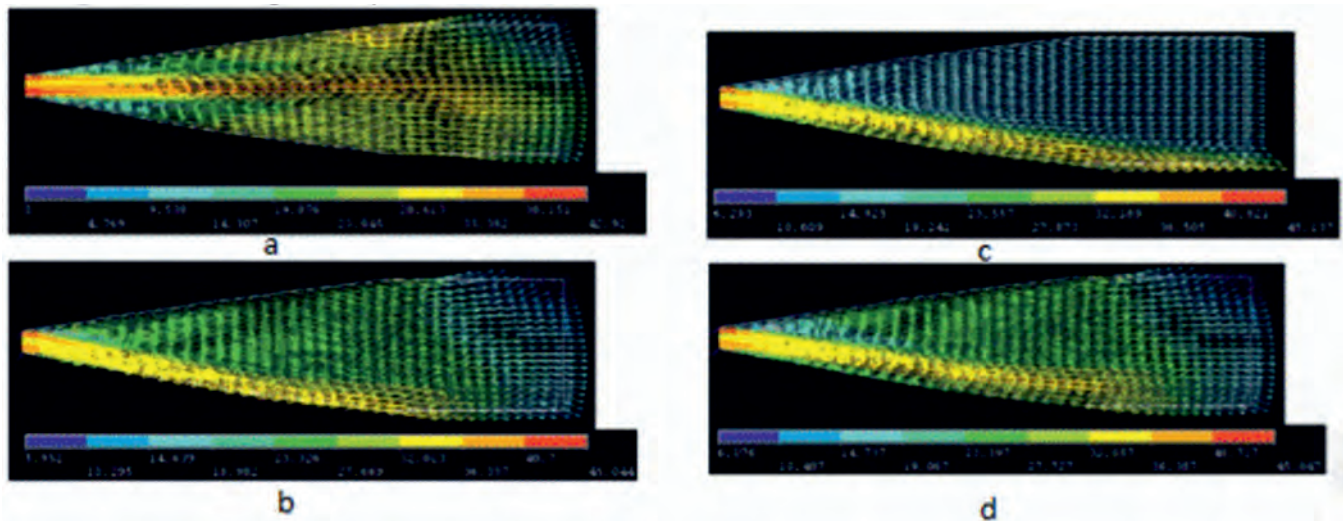


FIGURE 4. Distribution of speeds of the air current of the sprayer ASS 800 in the different work regimes modeled in CFD.
 FIGURA 4. Distribución de velocidades de la corriente de aire del pulverizador ASS 800 en los distintos regímenes de trabajo modelados en CFD.

Legend: a) without movement; b) with speed of the sprayer of 3,6 km/h and a speed of the wind of 5 m.s⁻¹ forming angles of 30°; c) with same speeds, but forming angles of 45°; d) with same speeds, but forming angles of 60°.

In Figure 5, the behavior of the air flow of sprayer is shown in different directions and speeds of the wind: a) the air flow of sprayer with wind at 90° and speeds of 1, 3 and 5 m.s⁻¹ and b) air flow of sprayer with speed of the wind 5 m.s⁻¹ and direction of 45°, 90°, 135° and 180°.

Leyenda: a) sin movimiento; b) con velocidad del pulverizador de 3,6 km/h y una velocidad del viento de 5 m.s⁻¹ formando ángulos de 30°; c) con iguales velocidades, pero formando ángulos de 45°; d) con iguales velocidades, pero formando ángulos de 60°.

En la Figura 5 se muestra el comportamiento del flujo de aire del pulverizador en diferentes direcciones y velocidades del viento: a) el flujo de aire del pulverizador con viento en dirección a 90° y velocidades de 1, 3 y 5 m.s⁻¹ y b) flujo de aire del pulverizador con velocidad del viento 5 m.s⁻¹ y dirección de 45°, 90°, 135° y 180°.

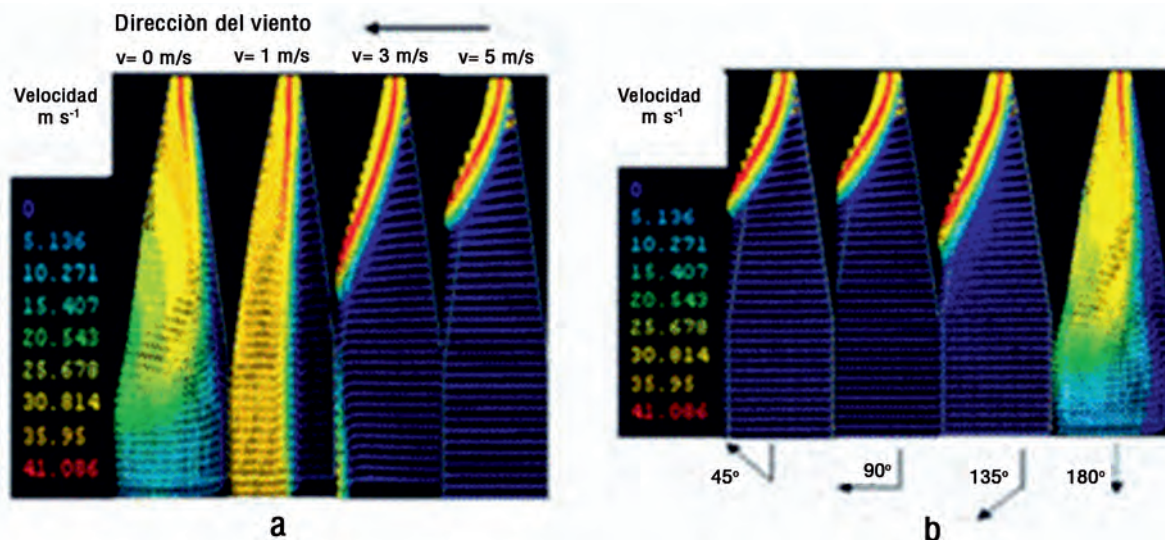


FIGURE 5. Behavior of the air flow of sprayer in different directions and speeds of the wind: a) the air flow of sprayer with wind in direction of 90° and speeds of 1, 3 and 5 m.s⁻¹ and b) air flow of sprayer with speed of the wind 5 m.s⁻¹ and direction of 45°, 90°, 135° and 180°.

FIGURA 5. Comportamiento del flujo de aire del pulverizador en diferentes direcciones y velocidades del viento: a) el flujo de aire del pulverizador con viento en dirección a 90° y velocidades de 1, 3 y 5 m.s⁻¹ y b) flujo de aire del pulverizador con velocidad del viento 5 m.s⁻¹ y dirección de 45°, 90°, 135° y 180°.

Salcedo *et al.* (2017), introduce computational fluid dynamics in the modelation of a fluid crossing a porous medium. These authors propose a practical case by means of the simulation of an air flow produced by the fan of a hydraulic sprayer assisted by air that crosses a porous medium (vegetation). The work consists on endowing of the necessary tools to configure a model CFD for, later on, to adjust the resistance from the porosity to the current passing using experimental data. The adjustment contemplates three cases: 1 - considering only inertial losses equal between the different porous bodies, 2 - considering these inertial losses and also the viscous losses and 3 - considering only inertial losses different between the different porous bodies, according to Figures 6a, b and c, respectively.

Toneva *et al.* (2011) and Chuanzhong *et al.* (2012), develop a mill of hammers with device of sifting. Figures 7a and 7b show the design and construction of the sifting and the simulation of the distribution of air flow with the application of CFD, to determine the appropriate assembly curve of the sieve and the numeric simulation of air flow in the tube of transport of the particles.

Brazeo *et al.* (1998), study the losses caused by hydropneumatic sprayers in fruit culture, with the analysis of the effect of width variation of exit diffusor of fan in the aerodynamics of air flow during the work process to different speeds of movement of the sprayer. Evaluations were carried out with widths in the exit

Salcedo *et al.* (2017), realizan una introducción de la dinámica de fluido computacional en la modelación de un fluido atravesando un medio poroso. Para ello, se propone un caso práctico mediante la simulación de un flujo de aire producido por el ventilador de un pulverizador hidráulico asistido por aire que atraviesa un medio poroso (la vegetación). El trabajo consiste en dotar de las herramientas necesarias para configurar un modelo CFD para, posteriormente, ajustar la resistencia de la porosidad al paso de la corriente usando datos experimentales. El ajuste contempla tres casos: 1- considerando solo pérdidas inerciales iguales entre los diferentes cuerpos porosos, 2- considerando dichas pérdidas inerciales más las pérdidas viscosas y 3- considerando solo pérdidas inerciales diferentes entre los diferentes cuerpos porosos, según las Figuras 6a, b y c respectivamente.

Toneva *et al.* (2011) y Chuanzhong *et al.* (2012), realizan el desarrollo de un molino de martillos con dispositivo de tamizado, según las Figuras 7a y 7b que muestran el diseño y construcción del tamizado y la simulación de la distribución del flujo de aire con la aplicación de la CFD, para determinar la curva de montaje adecuada del tamiz y la simulación numérica del flujo de aire en el tubo de transporte de las partículas.

Brazeo *et al.* (1998), realizan un estudio sobre las pérdidas provocadas por pulverizadores hidroneumáticos en fruticultura, con el análisis del efecto de la variación del ancho del difusor de salida del ventilador en la aerodinámica del flujo de aire durante el proceso de trabajo a distintas velocidades de movi-

of diffusor of the fan of 115 and of 150 mm. It was considered, the sprayer without movement and speeds of work of 2,18; 4,5 and 6,35 km/h. As variable answers, the deviation and reach of air flow will be analyzed through the interpretation of the graphics of speed. Similar studies were carried out by Boné *et al.* (2014) during the characterization of air flow generated by hydropneumatic sprayers.

miento del pulverizador. Se realizaron evaluaciones con sendos anchos en la salida del difusor del ventilador de 115 y 150 mm, se consideró el pulverizador sin movimiento y velocidades de trabajo de 2,18; 4,5 y 6,35 km/h, como variables respuestas se analizará la desviación y alcance del flujo de aire a través de la interpretación de los gráficos de velocidad, asimismo estudio similar realiza Boné *et al.* (2014), durante la caracterización del flujo de aire generado por pulverizadores hidroneumáticos.

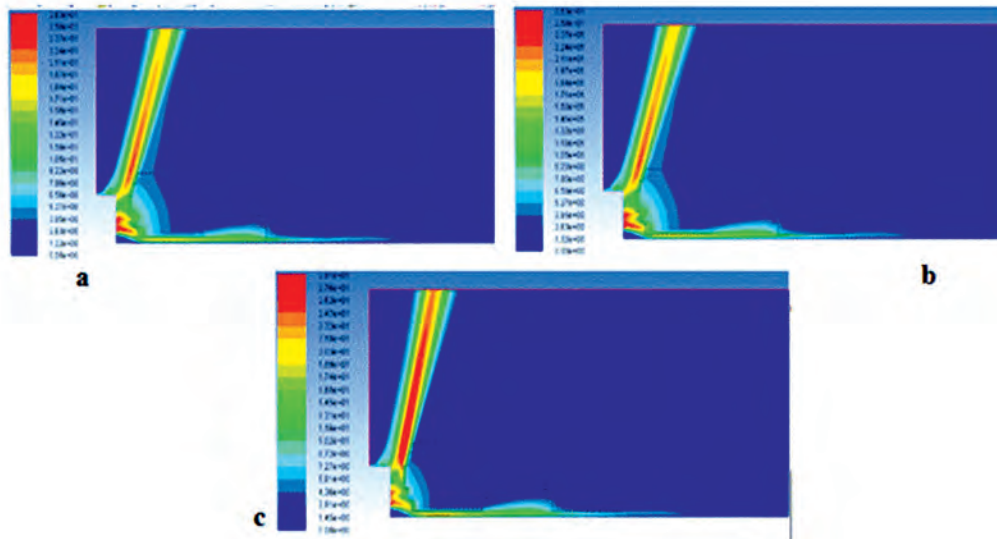


FIGURE 6. Simulation of a fluid crossing a porous medium. a) Diagram of speeds module of case 1, b) Diagram of speeds module of case 2, c) Diagram of speeds module of case 3.

FIGURA 6. Simulación de un fluido atravesando un medio poroso. a) Diagrama de módulo de velocidades del caso 1, b) Diagrama de módulo de velocidades del caso 2, c) Diagrama de módulo de velocidades del caso 3.

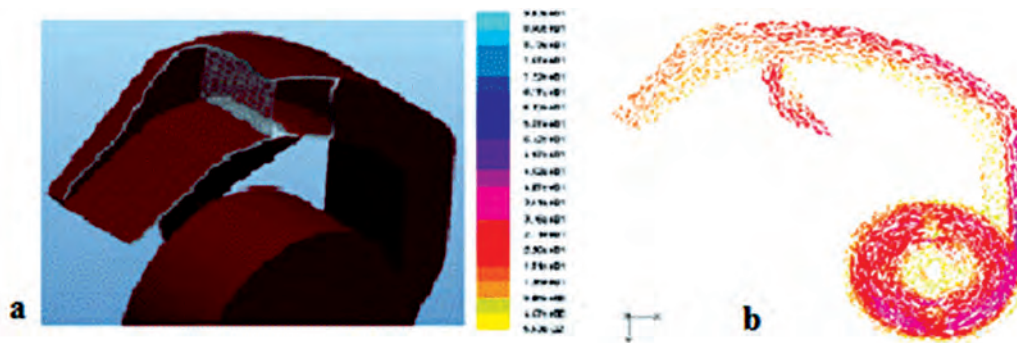


FIGURE 7. Simulation of mill of hammers with device of sifting. a) Design of the device of sifting, b) Distribution of air flow for CFD.

FIGURA 7. Simulación de molino de martillos con dispositivo de tamizado. a) Diseño del dispositivo de tamizado, b) Distribución del flujo de aire por CFD.

Endalew *et al.* (2010), developed an integrated model of computational fluid dynamics in 3D of air flow from a sprayer of orchard of crossed flow assisted by air of two fans through orchard pear trees without leaves, of 3 m of average height.

Endalew *et al.* (2010), desarrollaron un modelo integrado de dinámica de fluidos computacional (CFD) en 3D del flujo de aire desde un pulverizador de huerto de flujo cruzado asistido por aire de dos ventiladores a través de perales de huerto sin hojas de 3 m de altura promedio

Falcinelli (2004), carries out the simulation for CFD of the action of winds on the tanks for different topographies. In this work, a numeric analysis is presented by means of CFD of the movement field around a metallic tank with the objective of obtaining the distribution of pressures of wind on it.

Falcinelli (2004), realiza la simulación por CFD de la acción de vientos sobre tanques para distintas topografías. En este trabajo se presenta un análisis numérico por medio de dinámica de fluido computacional (CFD) del campo de movimiento alrededor de un tanque metálico con el objetivo de obtener la distribución de presiones de viento sobre el mismo.

Lisowski *et al.* (2012), analyze the movement of chopped material in the discharge outlet of the forage harvester with a cut unit of steering wheel, carrying out the application of the com-

putational fluid dynamics, in an outlet configuration, using the software Fluent v. 6.2. The work consisted on the characterization of the air movement and of the material cut in the discharge outlet of a forage harvester. The speed was determined with changes in the form, the speed of rotation of the cutting bolster, the number of blades and the quantity of vegetable material of corn fed to the unit of cut of the steering wheel.

Cao & Li (2011) analyzed by means of CFD, the field of air flow of three-dimensional in a mill, using the computation program Fluent v. 6.3. Then, the simulated results of the speeds of air flow were compared with the ones obtained by tests to validate the results of the numeric simulation.

On the other hand, several authors have studied the flow simulation in greenhouses (Flores *et al.*, 2011; Shah *et al.*, 2013; Espinal *et al.*, 2015 and Villagran *et al.*, 2018a, 2018b). These authors have carried out investigations on the thermal behavior in space greenhouses in Colombian under conditions of day and night climate, as well as in others built in hillside. They have also analyzed the design and climatic evaluation in greenhouses for conditions of intertropical mountain climate. Moreover, these investigators carried out climatic analysis of zenithal greenhouses of three houses without cultivation and with ventilation forced, respectively, in order to obtain the patterns of thermal distribution inside the greenhouses, under the established meteorological conditions, for the appropriate development of the cultivations.

García (2018) evaluates the process of sedimentation of discreet particles in turbulent flow. Mini-hydroelectric, without equipment to eliminate sand, frequently present obstructed nozzles and for that, a device is created to be connected to the high pressure pipe. In this investigation, the Solidworks is used to simulate the behavior of the speed profile of the current lines in the water flow, according to the Runge Kutta 2 for the simulation of particle movement (stones)(Figure 8). It is demonstrated that the device avoids the obstruction of the nozzles by the stones and it is concluded that, the sedimentation process in turbulent flow, happens in particles of diameter ≥ 2 mm. Also Nieto *et al.* (2004), carried out a study directed to the application of computational fluid dynamics in thermal regenerators.

Lisowski *et al.* (2012), analizan el movimiento de material picado en la boca de descarga de la cosechadora de forraje con una unidad de corte de volante, realizando la aplicación de la dinámica de fluido computacional, en una configuración de boquilla, utilizando el software Fluent v. 6.2. El trabajo consistió en la caracterización del movimiento del aire y del material cortado en la boquilla de descarga de una cosechadora de forraje, y se determinó la velocidad, con cambios en la forma, la velocidad de rotación del cabezal de corte, el número de cuchillas y la cantidad de material vegetal de maíz alimentado a la unidad de corte del volante.

Cao y Li (2011), analizaron mediante la CFD, el campo de flujo de aire tridimensional en un molino, empleando el programa de computación Fluent v. 6.3. Luego, los resultados simulados de las velocidades del flujo de aire fueron comparados con el obtenido por pruebas para validar los resultados de la simulación numérica.

Por otro lado, varios autores han incursionado en la simulación del flujo en invernaderos como Flores *et al.* (2011); Shah *et al.* (2013); Espinal *et al.* (2015) y Villagran *et al.*, (2018a, 2018b). Realizan investigaciones sobre el comportamiento térmico en invernaderos espacial colombiano en condiciones de clima diurno y nocturno, así como construido en ladera; también analizan el diseño y evaluación climática en invernaderos para condiciones de clima intertropical de montaña, asimismo un análisis climático de un invernadero cenital de tres naves sin cultivo y con ventilación forzada respectivamente, con vista a obtener los patrones de distribución térmica en el interior del invernadero, en las condiciones meteorológicas establecidas, para el desarrollo adecuado de los cultivos.

García (2018), evalúa el proceso de sedimentación de partículas discretas en flujo turbulento. En las minihidroeléctricas sin desarenador, frecuentemente presentan tupidión de las toberas, y para ello se crea un dispositivo que se conecta a la tubería de alta presión, en esta investigación se emplea el Solidworks para simular el comportamiento del perfil de velocidades de las líneas de corriente del flujo de agua, según Figura 8 y el Runge Kutta 2 para la simulación del movimiento de las partículas (piedras). Se demuestra que el dispositivo evita la tupidión de las toberas por las piedras, llegando a la conclusión de que el proceso de sedimentación en flujo turbulento, ocurre en partículas de diámetro ≥ 2 mm. Además, Nieto *et al.* (2004), realizan un estudio dirigido a la aplicación de la dinámica de fluidos computacional en regeneradores térmicos.

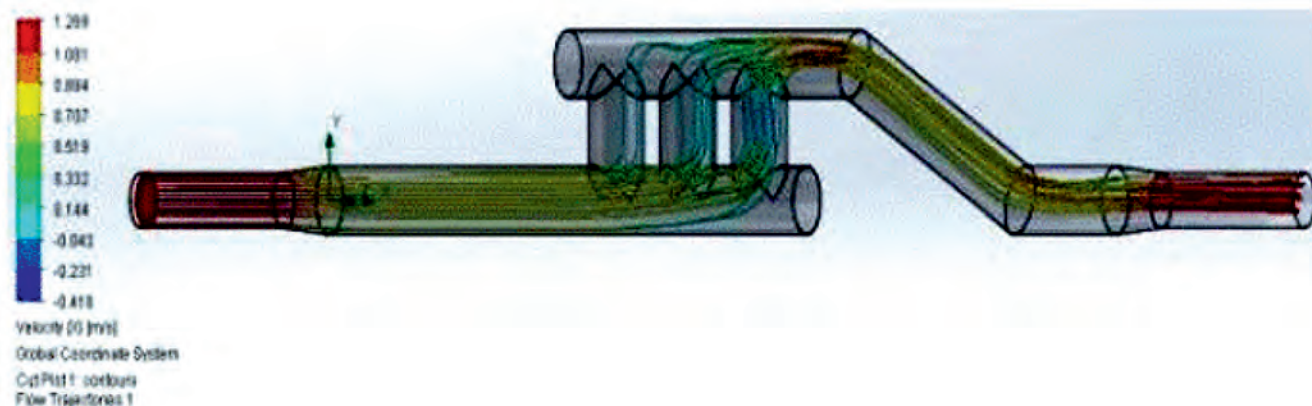


FIGURE 8. Behavior of speeds profile of water flow in the device applying CFD.
FIGURA 8. Comportamiento del perfil de velocidades del flujo de agua en el dispositivo aplicando CFD.

CONCLUSIONS

During the review the following issues were verified:

- The high potentialities and diversity in the application of CFD that constitutes a tool that can solve problems of high complexity, with the prediction of pressure, speeds profile, and studies of the aerodynamics, with multiple uses in Engineering, in general and in Agricultural Engineering, in particular. CFD is a valuable tool for analysis and simulation, to improve the design of dissimilar machines and equipment. It is remarkable its application in determining the effect of wind on the air flow of agricultural sprayers and in climate studies in greenhouses.
- That there are not works related to the application of CFD in forage harvesters.

REFERENCES

- BARAZAL, I.; SALA, J.M.: Interés y posibilidades de la dinámica de fluidos computacional, [en línea], www.academia.edu, 2019, Disponible en: [https://www.academia.edu/10539747/inter% c3%89s_y_posibilidades_de_la_din% c3%81mica_de_fluidos_computacional](https://www.academia.edu/10539747/inter%C3%89s_y_posibilidades_de_la_din%C3%81mica_de_fluidos_computacional).
- BONÉ, G.A.; VIDAL, C.M.; MALÓN, L.H.; PUYUELO, B.J.; GARCÍA, R.F.J.: “Caracterización del flujo de aire generado por pulverizadores hidroneumáticos mediante dinámica de fluidos computacional (CFD)”, En: 18th International Congress on Project Management and Engineering Alcañiz, 16-18th July 2014, Ed. Escuela Politécnica Superior Huesca, Huesca, España, 2014.
- BRAZEE, R.D.; DI PRINZIO, A.; BEHMER, S.; GIULIETTI, L.; MAGDALENA, J.C.: “Pérdidas provocadas por pulverizadores hidroneumáticos en fruticultura”, [en línea], En: Memorias de Ingeniería Rural y Mecanización Agraria en el Ámbito Latinoamericano, Ingeniería Rural y Mecanización Agraria en el Ámbito Latinoamericano, Ed. Editorial Board, La Plata, Argentina, p. 115, 1998, Disponible en: <https://go.gale.com/ps/anonymous?id=GALE%7CA466939775&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=fulltext&issn=10102760&p=AONE&sw=w>.
- CAO, L.; LI, C.: “Numerical simulation on air-flow field in the milling chamber of hammer mill”, [en línea], En: 2011 Second International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering, Ed. IEEE, pp. 476-479, 2011, DOI: 10.1109/MACE.2011.5986963, ISBN: 1-4244-9439-7, Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/238522402_Numerical_simulation_on_air-flow_field_in_the_milling_chamber_of_hammer_mill, [Consulta: 20 de noviembre de 2019].
- CHUANZHONG, X.; CAO, L.; ANDRADE, P.; MA, Y.; HAN, D.: “Development on a hammer mill with separate sieving device”, TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering, 10(6): 1151-1156, 2012, ISSN: 2087-278X.
- COUSSIRAT, N.M.G.; FONTANALS, G.A.A.; GUARDO, Z.A. de J.: “Estudio mediante CFD de la interacción rotor-estator en una bomba centrífuga con difusor”, [en línea], En: Anales AFA, Ed. Anales AFA, vol. 23, pp. 34-38, 2012, Disponible en: <https://www.recercat.cat/handle/2072/220297>, [Consulta: 20 de noviembre de 2019].
- ENDALEW, A.M.; DEBAER, C.; RUTTEN, N.; VERCAMMEN, J.; DELELE, M.A.; RAMON, H.; NICOLAÏ, B.M.; VERBOVEN, P.: “A new integrated CFD modelling approach towards air-assisted orchard spraying. Part I. Model development and effect of wind speed and direction on sprayer airflow”, Computers and electronics in agriculture, 71(2): 128-136, 2010, ISSN: 0168-1699, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2009.11.005>.
- ESPINAL, M.V.; LÓPEZ, C.I.L.; ROJANO, A.A.; ROMANTCHIK, K.E.; RAMÍREZ, A.A.: “Determinación de los gradientes térmicos nocturnos en un invernadero usando dinámica de fluidos computacional”, Agrocencia, 49(3): 233-247, 2015, ISSN: 1405-3195.
- FALCINELLI, O.: Simulación por CFD de la Acción de Vientos sobre Tanques para Distintas Topografías, [en línea], UNC. Córdoba, Tesis de Maestría, Córdoba, 2004, Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/333662411_simulacion_de_la_accion_del_viento_sobre_un_tanque_de_almacenamiento_usando_el_codigo_fluent, [Consulta: 20 de noviembre de 2019].
- FLORES, V.J.; MEJÍA, S.E.; MONTERO, C.J.I.; ROJANO, A.: “Análisis numérico del clima interior en un invernadero de tres naves con ventilación mecánica”, Agrocencia, 45(5): 545-560, 2011, ISSN: 1405-3195.
- FUJUN, W.: Computational fluid dynamics analyze-CFD theory and application, [en línea], Inst. Tsinghua University Press, Beijing, China, 122-138 p., 2004, Disponible en: [https://www.scirp.org/\(S\(lz5mqp453edsnp55rrgjt55\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1846871](https://www.scirp.org/(S(lz5mqp453edsnp55rrgjt55))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1846871), [Consulta: 20 de noviembre de 2019].
- GARCÍA, R.I.X.; RODRÍGUEZ, B.R.: “Evaluación del proceso de sedimentación de partículas discretas en flujo turbulento”, Ingeniería Mecánica, 21(3): 138-144, 2018, ISSN: 1815-5944.
- HERRERA, P.M.I.; GARCÍA DE LA FIGAL, C.A.E.; DE LAS CUEVAS, M.H.R.: “Análisis de la aerodinámica del ventilador del pulverizador ASS-800 empleado en frutales”, Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 22(4): 15-19, 2013, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- HERRERA, P.M.I.; GARCÍA DE LA FIGAL, C.A.E.; DE LAS CUEVAS, M.H.R.; TEXEIRA, M.M.: “Evaluación mediante la Dinámica de los Fluidos por Computadora (CFD) de la corriente de aire del pulverizador agrícola ASS-800”, Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 23(2): 5-11, 2014, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.

CONCLUSIONES

Durante la revisión se pudo constatar lo siguiente:

- Las altas potencialidades y diversidad en la aplicación de CFD, que constituye una herramienta que puede resolver problemas de elevada complejidad, con la predicción del perfil de velocidades, de presión y estudios de la aerodinámica, con múltiples usos en la ingeniería de forma general y en particular en la Ingeniería Agrícola, siendo una inestimable herramienta de análisis y simulación, dirigida al perfeccionamiento del diseño de disímiles máquinas y equipos.
- Que no existen trabajos relacionados con la aplicación de la CFD en las maquinas picadoras.

- HERRERA, P.M.I.; GARCÍA DE LA FIGAL, C.A.E.; DE LAS CUEVAS, M.H.R.; TEXEIRA, M.M.: “Efecto del viento en el flujo de aire de un pulverizador”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(2): 44-48, 2015, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- HERRERA, P.M.I.; GARCÍA DE LA FIGAL, C.A.E.; RAMOS, C.E.; TEXEIRA, M.M.: “Simulación mediante la dinámica de fluidos por computadora del efecto de la velocidad del viento en el desempeño de los pulverizadores agrícolas de ventilador”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(1): 19-25, 2012, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- HERRERA, P.M.I.; TEXEIRA, M.M.; RODRÍGUEZ, J.; DE LAS CUEVAS, M.H.R.: “Modelación mediante la dinámica de flujo computacional de la corriente de aire de un pulverizador”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 15(1): 12-18, 2006, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- LISIUK, G.F.; ZABALO, A.P.; ELASKAR, A.S.: “Análisis teórico y por elementos finitos de las pérdidas de carga en un sistema de riego de pivote central”, *Mecánica Computacional*, 26: 1977-1996, 2007, ISSN: 2591-3522.
- LISOWSKI, A.; ŚWIĄTEK, K.; KLONOWSKI, J.; SYPULA, M.: “Movimiento del material picado en la boquilla de descarga de la cosechadora de forraje con unidad de corte de volante: mediciones con maíz y simulación numérica”, *Biosystems Engineering*, 111(4): 381-391, 2012, ISSN: <https://translate.google.com/translate?hl=es&sl=en&u>, DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2012.01.003.
- NIETO, L.C.; MEJIA, A.R.; AGUDELO, S.J.R.: “Dinámica de fluidos computacional aplicada al estudio de regeneradores térmico”, *Revista Dyna*, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, 71: 81-93, 2004, ISSN: 0012-7353.
- ORO, F.J.M.: *Técnicas numéricas en ingeniería de fluidos: Introducción a la dinámica de fluidos computacional (CFD) por el método de volúmenes finitos*, Ed. Reverté, 2012.
- RUBIANO, C.W.L.: *CFD technology in centrifugal pumps*, [en línea], Researchgate.net, 2018, Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/325628216_cfd_technology_in_centrifugal_pumps.
- SALCEDO, R.; BAYÓN, A.; CHUECA, P.: “Introduciendo la dinámica de fluidos computacional en el análisis de flujos en medio poroso”, *Modelling in Science Education and Learning*, 10(1): 261-276, 2017, ISSN: 1988-3145.
- SHAH, S.; JAIN, S.; PATEL, R.; LAKHERA, V.: “CFD for centrifugal pumps: a review of the state-of-the-art”, *Procedia Engineering*, 51: 715-720, 2013, ISSN: 1877-7058.
- TONEVA, P.; EPPLE, P.; BREUER, M.; PEUKERT, W.; WIRTH, K.E.: “Grinding in an air classifier mill—Part I: Characterisation of the one-phase flow”, *Powder technology*, 211(1): 19-27, 2011, ISSN: 0032-5910, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2011.03.009>.
- VILLAGRAN, M.E.; BOJACÁ, A.C.R.; ROJAS, B.N.A.: “Determinación del comportamiento térmico de un invernadero espacial colombiano mediante dinámica de fluidos computacional”, *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 21(2): 415-426, 2018a, ISSN: 0123-4226.
- VILLAGRAN, M.E.A.; BOJACÁ, A.C.R.; ROJAS, B.N.A.: “Determinación del comportamiento térmico de un invernadero espacial colombiano mediante dinámica de fluidos computacional”, *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 21(2): 415-426, 2018b, ISSN: 0123-4226, DOI: <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.1070>.

Yusniel Cruz Gavilan, Investigador, Empresa de Beneficio y Acopio del Tabaco Minas, MINAG, Pinar del Río, Cuba, e-mail: pvaldes@unah.edu.cu
Tel: 54033470.

Pedro A. Valdés Hernández, Profesor Titular, Universidad Agraria de La Habana Facultad de Ciencias Técnica, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: pvaldes@unah.edu.cu, pppvaldes@nauta.cu

Alexander Laffita Leyva, Profesor, Universidad Agraria de La Habana Facultad de Ciencias Técnica, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: alex1@unah.edu.cu

María Victoria Gómez Águila, Prof. Titular, Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, Chapingo, Texcoco, Edo. México, México, e-mail: mvgomez@hotmail.com

Carmen María Chuairrey, Profesora, Universidad Agraria de La Habana Facultad de Ciencias Técnica, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: pvaldes@unah.edu.cu

The authors of this work declare no conflict of interests.

This item is under license [Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/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.