

INFORME DE TRAYECTORIA COMO AUXILIAR DE INVESTIGACIÓN

CAMILO ANDRES VARGAS SANABRIA

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS SECCIONAL TUNJA
DIVISION DE INGENIERIAS Y AQUITECTURA
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
TUNJA
2021

INFORME DE TRAYECTORIA COMO AUXILIAR DE INVESTIGACIÓN

CAMILO ANDRES VARGAS SANABRIA

INFORME DE AUXILIAR DE INVESTIGACIÓN, PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO.

DIRECTOR 1: EDWIN BLASNILO RÚA RAMÍREZ, INGENIERO MECÁNICO.

DIRECTOR 2: SAÚL ANDRÉS HERNÁNDEZ MORENO, INGENIERO
ELECTROMECAÁNICO.

TUTOR METODOLÓGICO:

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS SECCIONAL TUNJA
DIVISION DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
TUNJA
2021

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	7
PARTICIPACIÓN en proyectos DE INVESTIGACIÓN.....	9
1. DISEÑO DE UNA UNIDAD MODULAR DE COGESTIÓN DE RESIDUOS (EXCRETAS DE BOVINOS Y RESIDUOS DE CULTIVOS AGRÍCOLAS) PARA LA PRODUCCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE BIOGÁS/ BIOFERTILIZANTE EN LA PROVINCIA DE OCCIDENTE DEL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ.....	9
1.1 Participación	9
1.2 Productos	9
2 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE TEMPERATURA EN UN SECADOR DE MANZANAS.....	11
2.1 Participación	11
2.2 Productos	12
3. Diseño de Válvula unidireccional para duplicador de ventilador mecánico, ante Covid-19 en Colombia.	13
3.1 SITUACIÓN MUNDIAL DE PANDEMIA GENERADA POR CORONAVIRUS (COVID-19).....	13
3.2 Participación	13
3.3 Productos	14
CONCLUSIONES.....	15
REFERENCIAS	16

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. CERTIFICADO DE PARTICIPACIÓN COMO PONENTE EN EL VIII ENCUENTRO DE SEMILLEROS Y SEMILLERITOS ESCUELA DE CARABINEROS PROVINCIA DE VÉLEZ.....	10
FIGURA 2. PROGRAMACIÓN EN LABVIEW PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS.	11
FIGURA 3. CERTIFICADO DE PARTICIPACIÓN COMO PONENTE EN EL IV ENCUENTRO INTERNACIONAL DE SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN Y GRUPOS DE ESTUDIO EN INGENIERÍA MECATRÓNICA Y AFINES.....	12

RESUMEN

En este documento se presenta un recuento de los proyectos de investigación en los cuales participo el estudiante Camilo Andres Vargas Sanabria de la facultad de Ingeniería Mecánica, en la Universidad Santo Tomas seccional Tunja, durante su recorrido como auxiliar de investigación, el cual fue desarrollado en el semillero de investigación de ENERGÍAS asociado a la facultad. En su ejercicio como auxiliar de investigación junto con el equipo que conformaba el semillero el cual era conformado por docentes y estudiantes de la facultad, se desarrollaron algunas actividades de apoyo a proyectos de investigación avalados por la unidad de investigación USTA Tunja, productos como: ponencias, artículos, entre otros de las cuales se dará una descripción de lo desarrollado.

INTRODUCCIÓN

Los semilleros de investigación contribuyen a la formación personal y profesional de los estudiantes que participan de los mismos ya que refuerza aptitudes como el trabajo en equipo, la habilidad de indagación multidisciplinaria, innovación, autoaprendizaje entre otras y de esta forma aumentar la capacidad de los estudiantes para resolver problemáticas de la sociedad referentes a su campo de desarrollo.

Los semilleros se caracterizan por propiciar espacios agradables para sus participantes, de seguridad y solidaridad, en los cuales se generan preguntas orientadas al desarrollo de competencias en investigación; asimismo, son espacios donde confluyen el estudiante y el docente, encaminados a la iniciación de comunidades de aprendizaje a través de la formulación de objetivos, temas y metas, por lo cual asumen una responsabilidad social y pertenencia en la labor investigativas¹.

La formación en investigación es un proceso que se inicia desde los primeros niveles del sistema educativo. Ello se evidencia en los diferentes planes de estudio: educación inicial, primaria, media hasta la universitaria, donde se indica que los estudiantes desarrollen un pensamiento lógico, crítico, reflexivo y sean capaces de analizar y resolver problemas del contexto social en el cual están inmersos.².

En Colombia existe una organización no gubernamental integrada en su mayoría por estudiantes de pregrado que tiene como fin dar fuerza a una nueva cultura científica para el país.

¹ CANTOR, Carlos Julio Saavedra; FIGUEROA, Carolina Antolínez; GUERRERO, Ana Helena Puerto; MESA, Yurian Lida Rubiano; SÁNCHEZ, Alba Idaly Muñoz. Semilleros de investigación: desarrollos y desafíos para la formación en pregrado. *Educación y Educadores*, 2015, vol. 18, no 3 p. 391-407.

² DELGADO, Rodolfo Alfonso Márquez; SANJUAN, Nahín Numa. Los semilleros como espacios de investigación para el investigador novel. *Propósito y Representaciones*, 2019, vol. 7, no 1 p. 230-248.

De gran renombre en el país es la Red Colombiana de Semilleros de Investigación, Redcolsi. Esta red nacional está organizada en nodos locales y regionales en diferentes departamentos o regiones, como por ejemplo el nodo Eje Cafetero³.

En este documento se encuentra un informe de las actividades desarrolladas por el autor, durante su trayectoria de investigación cursando el pregrado de ingeniería mecánica en la Universidad Santo Tomas seccional Tunja. Teniendo en cuenta, que la mayoría de los proyectos trabajados, tuvieron como eje principal las energías renovables y el sector agropecuario.

³ CORZO, Josefina Quintero; MOLINA, Raúl Ancízar Munevar; QUINTERO, Fabio Ignacio Munevar. Semilleros de investigación: una estrategia para la formación de investigadores. *Educación y Educadores*, 2008, vol. 11 no 1, pp. 31-42.

PARTICIPACIÓN EN PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

1. DISEÑO DE UNA UNIDAD MODULAR DE COGESTIÓN DE RESIDUOS (EXCRETAS DE BOVINOS Y RESIDUOS DE CULTIVOS AGRÍCOLAS) PARA LA PRODUCCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE BIOGÁS/ BIOFERTILIZANTE EN LA PROVINCIA DE OCCIDENTE DEL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ.

El proyecto estaba a cargo de la Ingeniera Milena Lozano Násner, docente de la facultad de ingeniería mecánica de la Universidad Santo Tomas seccional Tunja, persona que en el momento era la líder del SEMILLERO DE ENERGÍAS, este proyecto fue presentado a la convocatoria **745- CONVOCATORIA PARA PROYECTOS DE CTeI Y SU CONTRIBUCIÓN A LOS RETOS DE PAIS - 2016 de COLCIENCIAS.**

Este proyecto tenía como objetivo la obtención de biogás por medio de un codigestor, también se podía obtener fertilizante como producto secundario al finalizar el proceso que podía ser usado en actividades agropecuarias. Para este codigestor se usaban residuos orgánicos como excretas de bovinos y desechos agrícolas ya que son residuos de fácil obtención en zonas rurales del occidente de Boyacá, las cuales eran el público objetivo de este proyecto ya que en algunos casos no se cuenta con energía eléctrica se pretendía dar solución a esta problemática usando el biogás obtenido en este proceso.

1.1 Participación

Para este proyecto se realizó una búsqueda del estado del arte, para obtener información sobre el tipo de codigestores existentes en el momento y cuales podrían tener una mejor eficiencia en esta región, la caracterización de los residuos de mayor acceso utilizados en estos dispositivos, viendo cuales eran los de mayor aporte energético para el proceso y las diferentes aplicaciones que tiene el biogás obtenido dentro de las labores cotidianas de estas familias, etc.

1.2 Productos

Con este proyecto se realizó una ponencia en el **“VIII encuentro de semilleros y semilleritos Escuela de Carabineros Provincia de Vélez”** ver (Figura 1), en donde se obtuvieron buenos comentarios por parte del jurado evaluador y los demás

asistentes, destacando la dirección y el enfoque del proyecto y los estudios presentados del mismo.



Figura 1. Certificado de participación como ponente en el VIII encuentro de semilleros y semilleritos Escuela de carabineros Provincia de Vélez

2 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE TEMPERATURA EN UN SECADOR DE MANZANAS.

El sistema que se planteó para este proyecto, fue un programa diseñado en la plataforma LabVIEW ya que esta plataforma permitía tener una programación dinámica y que contara con opciones de visualización amigables he intuitivas para el operador. Debido a que la plataforma labVIEW no tiene una licencia gratuita para la utilización de sus componentes, se realizó la programación del accionamiento de los sensores de medición en dicha plataforma y para la ejecución de esta programación se implementó una interfaz que permitiera comunicar una placa Arduino la cual era la encargada de ejecutar la programación y guardar los valores de temperatura obtenidos en una tabla Excel.

2.1 Participación

Se realizó búsqueda de estado del arte, para conocer aportes o trabajos similares que se pudieran tener en cuenta en el desarrollo del proyecto.

En este proyecto se participó en la elaboración del programa (**Figura 2**) y cotización de los materiales necesarios para su funcionamiento.

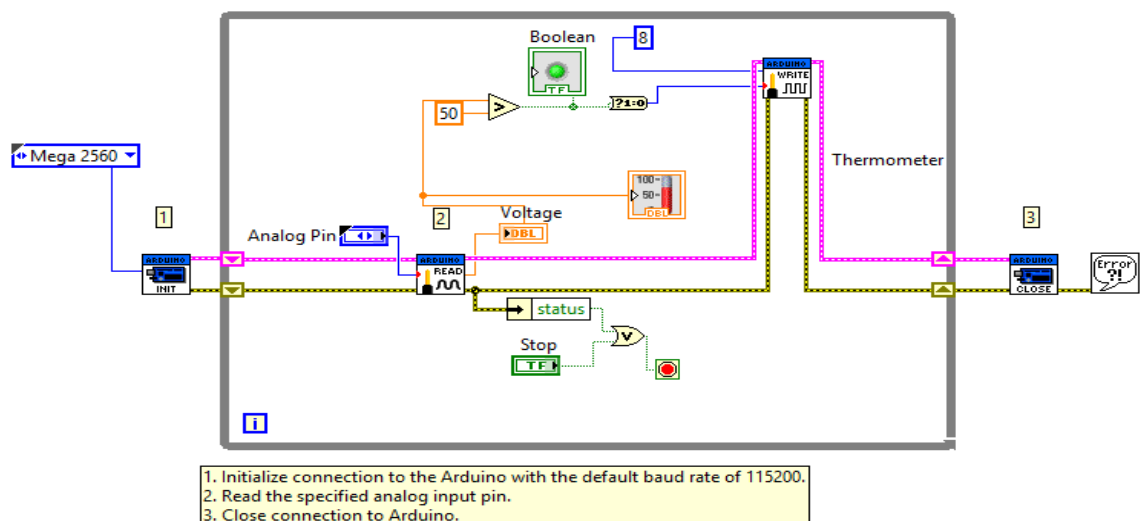


Figura 2. Programación en labVIEW para la adquisición de datos.

2.2 Productos

Con este proyecto se realizó una ponencia en el **IV encuentro internacional de semilleros de investigación y grupos de estudio en Ingeniería Mecatrónica** y afines llevado a cabo en la Universidad Piloto de Colombia en la ciudad de Bogotá, en este evento se dio a conocer la propuesta con el nombre de “**SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE TEMPERATURA EN UN SECADOR DE MANZANAS**”, (Figura 3).



Figura 3. Certificado de participación como ponente en el IV encuentro internacional de semilleros de investigación y grupos de estudio en Ingeniería Mecatrónica y afines.

3. DISEÑO DE VÁLVULA UNIDIRECCIONAL PARA DUPLICADOR DE VENTILADOR MECÁNICO, ANTE COVID-19 EN COLOMBIA.

3.1 Situación mundial de pandemia generada por coronavirus (covid-19).

En la actualidad, la población mundial atraviesa por una difícil situación de pandemia generada por coronavirus (covid-19). Lo cual genera un déficit de equipo médico para atender a los pacientes que sufren de complicaciones en la salud gracias al virus dado que la tasa de infección es elevada las salas de cuidados intensivos no son suficientes para atender dichos pacientes.

Gracias a que la cantidad de pacientes que requieren de una sala de cuidados intensivos (UCI) es elevado especialmente en aquellas regiones en las cuales no se contaba con una alta disponibilidad de dichas unidades se han planteado estrategias que permitan aprovechar al máximo los recursos médicos existentes, una de estas estrategias es la implementación de una válvula que permita la utilización de un solo ventilador mecánico para brindar soporte respiratorio a dos pacientes que lo requieran.

Aunque lo ideal sería poder conectar a un solo paciente a cada ventilador no se descarta la posibilidad de tener que utilizar estas válvulas en caso que las unidades de cuidados intensivos colapsen por la cantidad de pacientes no obstante se dejara como último recurso dado que requiere de una preparación tanto del equipo médico como del ventilador mecánico para poder conectar a los dos pacientes simultáneamente.

3.2 Participación

En este proyecto se realizaron aportes en la revisión del estado del arte, acerca de proyectos y ensayos similares desarrollados en otras partes del mundo, organizar dicha información y realizar conclusiones acerca del trabajo realizado por el equipo de trabajo multidisciplinario.

3.3 Productos

De este proyecto se realizó el artículo titulado “Design of a unidirectional valve for mechanical respirator duplicator, during Covid-19 times in Colombia” se presentó a la revista **INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING RESEARCH AND TECHNOLOGY (IJERT)**, Categoría Q3, homologada en Publindex en categoría B. de esta se recibieron algunas solicitudes de corrección hasta que el día 03 de abril de 2021 se recibió la aprobación para publicación

En el siguiente enlace se puede encontrar el sitio de la revista **IJERT** en donde se encuentra publicado el artículo: <http://www.irphouse.com/mec/ijer.htm>

La revista se encuentra indexada en Scopus, en el siguiente enlace se puede ver <https://www.scopus.com/sourceid/21100828027>

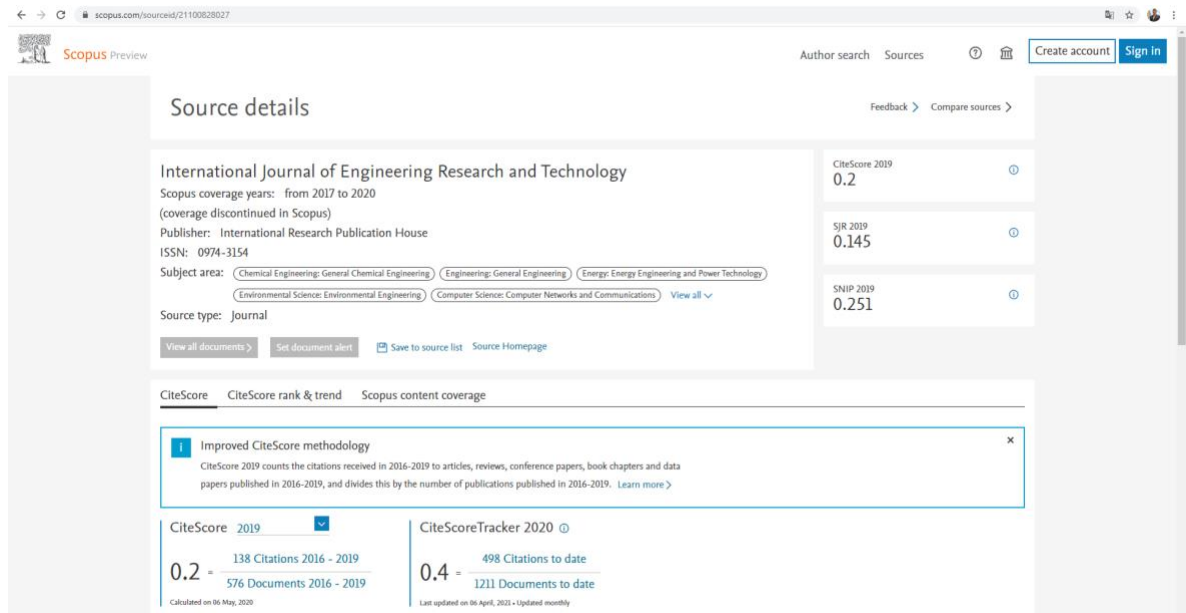


Figura 4. Revista IJERT indexada en Scopus

Al final del documento se anexa el artículo enviado y aceptado para publicación en la revista IJERT:

CONCLUSIONES

La participación de los estudiantes en Semilleros de Investigación, les permite adquirir diferentes conocimientos, sobre los diversos temas que abarca el campo de estudio y tener un pensamiento crítico para organizar la información que es útil y la que no, también desarrolla capacidades de interacción interpersonal y de trabajo en equipo también aporta bases sólidas para la resolución de problemas de índole investigativo y práctico que le servirán en su vida laboral.

Al estar inmerso en actividades de investigación, el estudiante adquiere habilidades en el manejo de bases de datos con información precisa y confiable, que le permitirán fortalecer o respaldar proyectos en los cuales está involucrado y toma conciencia de la importancia de mantener un perfil activo como investigador en la actualidad.

El estudiante que participa como auxiliar de investigación, potencializa aptitudes como el liderazgo, disciplina, la inventiva, mejor su capacidad de manejarse en público y expresar ideas complejas de una forma clara y concisa lo cual le da un valor agregado al estudiante como persona y profesional.

REFERENCIAS

CANTOR, Carlos Julio Saavedra; FIGUEROA, Carolina Antolinez; GUERRERO, Ana Helena Puerto; MESA, Yurian Lida Rubiano; SÁNCHEZ, Alba Idaly Muñoz. Semilleros de investigación: desarrollos y desafíos para la formación en pregrado. *Educación y Educadores*, 2015, vol. 18, no 3 p. 391-407.

DELGADO, Rodolfo Alfonso Márquez; SANJUAN, Nahín Numa. Los semilleros como espacios de investigación para el investigador novel. *Propósito y Representaciones*, 2019, vol. 7, no 1 p. 230-248.

CORZO, Josefina Quintero; MOLINA, Raúl Ancízar Munevar; QUINTERO, Fabio Ignacio Munevar. Semilleros de investigación: una estrategia para la formación de investigadores. *Educación y Educadores*, 2008, vol. 11 no 1, pp. 31-42.

ANEXO 1. Artículo aceptado para publicación en la revista INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING RESEARCH AND TECHNOLOGY (IJERT).

International Journal of Engineering Research and Technology. ISSN 0974-3154, Volume 12, Number 1 (2019), pp. 1-7
© International Research Publication House. <http://www.irphouse.com>

Design of a unidirectional valve for mechanical respirator duplicator, during Covid-19 times in Colombia

Edwin Rua R.¹, Edwin Torres D.¹, Saúl Hernández M.¹, Leonardo Cely¹, Fernando Jiménez¹, Camilo Vargas¹, Gonzalo Guillermo Moreno Contreras²

¹Engineering Research and Development Group in New Technologies (GIDINT), Faculty of Mechanical Engineering, Santo Tomás University, Colombia. {Edwin.rua, Edwin.torresd, saul.hernandez, Leonardo.cely, Fernando.jimenez, [@usantotoeduco](mailto:camilo.vargas)}

²Mechanical Engineering, University of Pamplona, Colombia, gmoren@unipamplona.edu.co

Abstract

One of the consequences of coronavirus (covid-19) in the planet is the possible lack of mechanical respirators in Intensive Care Units (ICU) in different healthcare providing facilities, especially in those regions where there is no ICU availability and coronavirus (covid - 19) infections are high, such situation could cause a collapse of the health system, that is why the Department of Mechanical Engineering, New Engineering Technologies Research and Development Group (GIDINT) of the Santo Tomás Aquino University - Tunja, Colombia, has carried out the design, development, and analysis of a duplicator for mechanical respirators using 3D printing as a manufacturing method, which by means of a unidirectional valve allows the flows gas for both expiration and inspiration through dedicated ducts, thus, guaranteeing the a correct mechanical respirator's operation and ensuring that patients' health is not put at risk during its use. This piece of medical equipment can be used as a last resort in case there may not be enough mechanical respirators available in healthcare providing facilities during an emergency caused by coronavirus (covid - 19).

Keywords: Design, analysis, duplicator, 3D printing, coronavirus, mechanical respirator.

I. INTRODUCTION

Colombia, like many countries, took actions to contain coronavirus (covid - 19) and answer the needs of the general population. However, thanks to the high impact that this emergency has generated in the healthcare systems, it is necessary to think about strategies that can help solve the shortage of medical equipment in healthcare providing facilities.

One of the complications associated with the covid-19 virus is the patient's respiration and oxygenation process, which is currently being addressed through the use of mechanical respiration necessary for the patient's life support.

Taking the current availability of respirators available to healthcare facilities and the high number of infections into

account, the possible collapse of intensive care units is a possibility, which is why the use of multiple mechanical or multi-pulmonary respiration is proposed in order to better take advantage of the currently available resources.

For the research group, the use of individually mechanical respirators is essential, analyzing the situation a local perspective it is evident that Boyacá hasn't enough respiratory resources to provide care for all the patients who will be possibly affected by the Covid-19 virus.

Taking this problem into account, it is necessary to implement strategies that allow to reduce the impact of this emergency, therefore, the use of shared or multi-pulmonary mechanical respiration is proposed aiming to mitigate the problem's effects during the health emergency generated by the virus and the high volume of patients in ICUs.

The basis for the project is a standard respirator, its diagram is shown below:

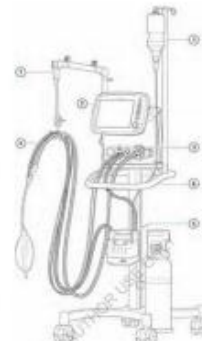


Figure 1-1. Hamilton-C2 with accessories

- | | |
|--------------------------------|-----------------------|
| 1 support table | 4 respiratory circuit |
| 2 cover and controls | 5 humidifier |
| 3 breathing circuit connection | 6 air |

Fig. 1. Mechanical respirator's components.

Source: Taken from the HAMILTON-C2 respirator user's manual.

II MECHANICAL RESPIRATION

Mechanical respiration is supplied by devices that intend to provide life support to patients who cannot breathe on their own or who need assistance, these devices move air and/or oxygen to and from the patient's lungs. This assistance is given in different cases such as disease, trauma, congenital diseases or while under the influence of drugs such as anesthesia.

Mechanical respiration can be delivered non-invasively by means of a respirator mask or helmet. Or invasively through endotracheal intubation for patients who cannot protect their airways, such as those in a coma, this technique can also be applied under the doctor's discretion when the patient is condition is expected to worsen or during airborne pathogen infections. (Assessment, 2020).

The concept of artificial respirator was coined by Vesalius in 1555, but in 1928 Drinker and Shaw, used the first iron lung which was later perfected by Emerson in 1950, during the Poliomyelitis epidemic the use of this therapeutic technique was widely required. Two years later Engstrom introduced positive pressure respirator from which many of the current mechanical respiration's theories and models come from. (Colice, 2006).

For a gas to flow, there must be a positive pressure gradient which is defined as the force exerted on a surface to displace a volume, which depends on the resistance and the distance the gas is going to travel. For mechanical respiration there are four types of pressure which are: (Loeches, De Haro, Dellinger, Ferrer, & Levy, 2013):

- > Peak inspiratory pressure (PIP): it is the maximum pressure obtained during the distribution of an active gas.
- > Plateau pressure: it is the final inspiratory pressure during a period of gas flow absence.
- > Average airway pressure: it is the average pressure during the respiratory cycle (inspiration and expiration).
- > End-expiratory pressure: it is the airway pressure at the expiration's end phase and is normally equal to atmospheric pressure.

A functioning mechanical respirator's pressure can be measured in different places within the ventilatory cycle, there is also a flow which refers to the speed at which a volume of gas is delivered per unit of time in two points of a duct. Thanks to the pressure gradient this flow is translated to liters per minute (Ortiz, Duchas, Lara, Garay, & Blanco, 2013).

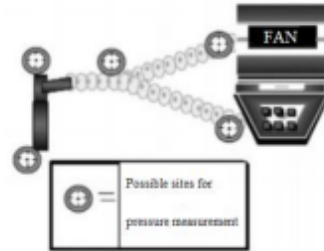


Fig. 2. Places in which to measure the respirator.
 Source: Butcher & Boyle, 2016.

In the Y shaped piece in the ventilatory circuit, in the opening of the airway, in the carina, by applying a pressure control line to a tracheal tube with an extra lumen.

II.1 Monitoring of mechanical respiration

It is important monitor what happens between the patient and the respirator constantly using basic and advanced monitoring methods (Hernandes & Triolet, 2002) or multimodal monitoring.

General monitoring	Images:
<ul style="list-style-type: none"> * Neurological status * Respiratory status * Cardiovascular status 	<ul style="list-style-type: none"> * Chest x-ray * TACHM Thorax * TAC electrical impedance * Pulmonary ultrasound
<ul style="list-style-type: none"> * Kidney status * gastrointestinal status 	
Respiratory monitoring Respiratory parameters	Gas exchange
<ul style="list-style-type: none"> * FIO₂ * Breathing frequency * volume * Ratio I: E 	<ul style="list-style-type: none"> * Arterial blood gas * Pulse oximetry * Capnography * Volumetric capnography * S_vO₂
<ul style="list-style-type: none"> * Pressures * PEEP * Flow * Sensitivity * Dead space * Alarms * Humidity and T * Spirometry 	
Lung mechanics	patient-ventilator synchrony
<ul style="list-style-type: none"> * Respiratory work * Complacency * Endurance * Occlusion pressure * Flow, volume and pressure curves over time * Loops P / V - F / V * Tracheal pressure (transpleural) * Esophageal pressure 	<ul style="list-style-type: none"> * Patient * Fan * Sensitivity

Figure 3. Respiratory supported patient's monitoring
 Fuente Gutierrez Muñoz, 2011

II.II Design, construction and analysis of the mechanical respirator's duplicator



Fig. 4. Duplicator construction
 Source: Authors

In an ideal world, no doctor who treats patients with acute respiratory distress syndrome (ARDS) would have to connect several patients to a single mechanical respirator, however the current COVID-19 pandemic is making health professionals go around the world take extreme measures in the most affected regions, meaning that they will have to find a balance between available resources and the resources required to care for all patients making the option of connecting multiple patients to a single respirator a viable one (Branson, Blakeman, Robinson, & Johannigman, 2012).

II.III Materials and Methods

The duplicator is made up of a series of accessories used to address the possible shortage of respirator devices in hospitals, which is becoming a specific problem related to the spread of COVID-19. It was determined that the best way to manufacture these elements is 3D printing, given the mandatory preventive isolation decree issued by the national government. The use of these 3D printing equipment does not require a lot of space and using the right settings and calibrations, good products are manufactured.

The Santo Tomás University in Tunja acquired the following equipment and materials to manufacture and implement the duplicator prototype.

II.IV Duplicator design

For the design of the duplicator, the output connectors' dimensions that go from the duplicator to the respiratory circuits were measured, the external diameters of the two duplicator outputs are 22 mm and the internal diameters are of 19mm, for a male connection. For the design of the respirator duplicator's connection, the dimension of the external diameter of the tube were taken, it has an internal diameter of 22 mm, and an external diameter of 25 mm, for a female duplicator. The design was made using the Inventor Software.



Fig. 5. Duplicator for a mechanical respirator.
 Source: Authors

For the construction of the duplicators, a Anycubic Photon S resin 3D Printer was used and for the construction the Ultraviolet Resin 405nm 500ml was used.

III RESULTS

The oxygen supply for a mechanically ventilated patient is approximately $\frac{6 \text{ ml/s}}{\text{kg}}$. If we consider two patients with a mass of 100 kg each, we have a total mass of 200 kg and the volumetric flow of total oxygen [Q] is:

$$Q = \frac{6 \text{ ml/s}}{\text{kg}} \times 200 \text{ kg} = 1200 \frac{\text{ml}}{\text{s}} = 1.2 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (1)$$

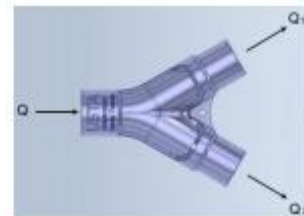


Fig. 6. Inflow and outflow in the duplicator.
 Source: Authors

By continuity equation (law of conservation of matter), we have that: $Q = Q_1 + Q_2$

But the flow in the duplicator is symmetric; this means that: $Q_1 = Q_2$

From the two previous equations it is concluded that:

$$Q_1 = Q_2 = \frac{Q}{2} = \frac{1.2 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{2} = 6 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (2)$$

To determine the density (ρ) of oxygen (O_2), it is required to know the absolute pressure at which it is. Maximum positive pressure (P_m) in each patient 35 cm of in the water column equal to:

$$P_m = 35 \text{ cm}_{\text{Hg}} \times 1 \frac{\text{m}}{100 \text{ cm}} \times 9810 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} = 3.433 \text{ kPa} \quad (3)$$

Atmospheric pressure (P_{atm}) in the city of Tunja it is at 550 mm in the mercury column, which equals to:

$$P_{atm} = 550 \text{ mm}_{\text{Hg}} \times \frac{101325 \text{ Pa}}{760 \text{ mm}_{\text{Hg}}} = 73.327 \text{ kPa} \quad (4)$$

The absolute pressure (P) is the sum of the two calculated pressures: $P = P_m + P_{atm} = 76.76 \text{ kPa}$

The average temperature of the O_2 to be supplied is set at $T = 25 \text{ }^\circ\text{C} = 298 \text{ K}$

With the previous considerations of temperature and pressure, oxygen is considered as an ideal gas, because it is in a very distant state from its critical point (154.8 K and 5.08 MPa), data obtained from table A1 reference [1]. Therefore, O_2 complies with the ideal gas state equation:

$$\frac{P}{\rho} = RT \rightarrow \rho = \frac{P}{RT} \quad (5)$$

In table A-1 of reference [2] we have that the gas constant of oxygen is $R = 0.2598 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \times \text{K}}$

$$\rho = \frac{76.76 \text{ kPa}}{0.2598 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \times \text{K}} \times 298 \text{ K}} = 0.991 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (6)$$

In table A10 (Cengel Y. A., Cimbala J.M, 2006), the dynamic viscosity of O_2 at 1 atm pressure and $25 \text{ }^\circ\text{C}$ is: $\mu = 2.221 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \times \text{s}}$

In figure D1 of reference [3] a very similar result is graphically obtained for the viscosity of oxygen as a function of temperature.

Reynolds number (N_R) is the dimensionless parameter that allows to establish if a flow is laminar or turbulent, or if it is in a transitory state (not desirable because the level of uncertainty is maximum and its behavior cannot be predicted).

$$N_R = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (7)$$

In the equation V is the average velocity of the flow and D is the internal diameter of the section perpendicular to the flow.

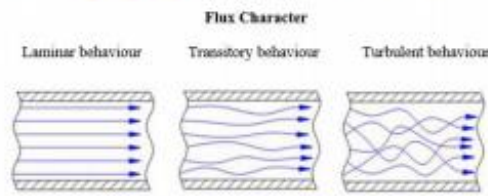


Fig. 7. Types of flow in a duct.

In the duplicator there are different flow areas as can be seen in figure 8.



Fig. 7. Detail of the internal inlet and outlet diameters in the duplicator.
 Source: Authors

The internal or flow area at the inlet of the duplicator is determined according to:

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{\pi \times (0.022 \text{ m})^2}{4} = 3.8 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \quad (8)$$

The speed V at the input of the duplicator is:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{12 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{3.8 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 3.16 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (9)$$

With the results obtained, the Reynolds number is determined at the input of the duplicator:

$$N_R = \frac{0.991 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 3.16 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0.022 \text{ m}}{2.221 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \times \text{s}}} = 3101.95 \quad (10)$$

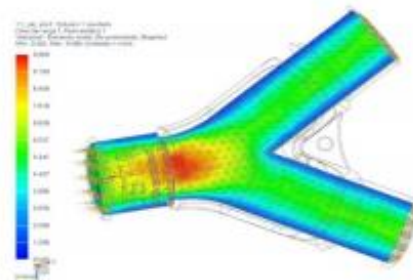


Fig. 9. Flow simulation before division.
 Source: Authors

The flow at the inlet of the duplicator is in the transition zone because $2000 < N_R < 4000$, as seen in figure 8. The reason can be attributed to the fact that the incoming flow is twice the normal flow for which the duct diameters of the unmodified equipment were originally designed.

At the outlet of the duplicator, the flow is divided into two branches with cross sections of the same size. The internal or

flow area at the outlet of each branch of the duplicator is determined according to:

$$A_1 = A_2 = \frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{\pi \times (0.019m)^2}{4} = 2.835 \times 10^{-4} m^2 \quad (11)$$

The speeds V_1 y V_2 at the exit of each branch, also equal to:

$$V_1 = V_2 = \frac{Q}{A} = \frac{6 \times 10^{-4} m^3/s}{2.835 \times 10^{-4} m^2} = 2.117 \frac{m}{s} \quad (12)$$

With the previous results, the Reynolds number is determined, which is the same for the two branches:

$$N_{R1} = N_{R2} = \frac{0.991 \frac{kg}{m^3} \times 2.117 \frac{m}{s} \times 0.019m}{2.221 \times 10^{-5} \frac{kg}{m \cdot s}} = 1794.73 \quad (13)$$

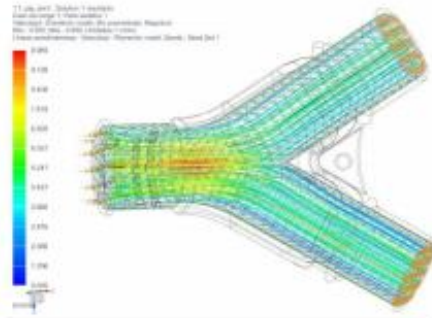


Fig. 10. Simulation of laminar flow in the branches.
 Source: Authors

At the outlet of each branch, the flow is laminar as shown in figure 9, because $N_R < 2300$. Although it is relatively close to the maximum laminar flow value, it is important to bear in mind that the calculations were made for two people weighing 100 kg each. For people who weigh less, it is guaranteed that the flow will be even more laminar.

The reference velocity limit layer analyzes [2] establish that the hydrodynamic region is fully developed when the flow travels the hydrodynamic inlet length ($L_{h, laminar}$) which for laminar flow is determined according to:

$$L_{h, laminar} \approx 0.05 \times N_R \times D = 1.7m \quad (14)$$

According to the previous calculation, it is recommended that each duct that goes from the duplicator outlet branches to the connections with the patient, have a minimum length of 1.7m, to avoid feeling the effects of shear stresses in the flow, caused by the viscosity of gas.

The final diagram of the respiration circuit using the mechanical respirator duplicator is illustrated in figure 10:

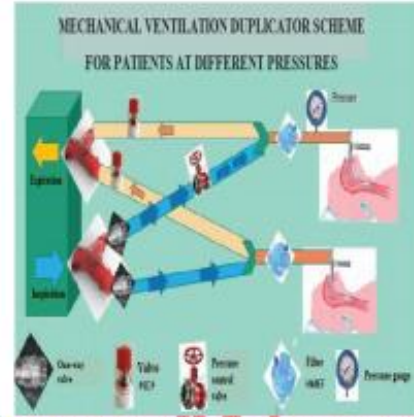


Fig. 11. Mechanical respirator's duplicator schematic for patients set at different pressures.
 Source: Authors

1. Hamilton G5 mechanical respirator or similar equipment Draeger, Pruritan Bennet, Avea, Servo i (This will be the respirator used in the tests, however, the data on the types of respirators the department is pending).
2. Two 3D printed duplicators (manufactured by USTA Engineering Group).
3. Two anesthesia circuits with Y and test balloon.
4. Two inspiratory and expiratory valves (depending on the type of respirator to be used).
5. Two unidirectional valves.
6. Two low pressure transducers.
7. Two luer port connectors.
8. Two HEPA filters and two HMEF FILTERS.
9. A portable capnograph and/or capnography line for the monitor.
10. Respirator cart.
11. Ambu, manual resuscitator or self-inflating bag.
12. High pressure oxygen canister.

IV CONCLUSIONS

The use of 3D printers is of great help in these cases since they do not require specialized personnel for their management, nor a large infrastructure for their operation and provides a high-quality final product.

At the inlet of the duplicator, the oxygen flow becomes turbulent because the amount of oxygen that is coming out of the respirator is over the amount for which the outlet is designed.

The implementation of the mechanical respiration duplicator does not affect the flow of oxygen to the patient, since at the exit of each branch the flow continues to be laminar, which is ideal for these cases.

This duplicator was is to be used a last resort since additional protocols are required for its correct operation and reduction of the patients' risk.

REFERENCES

- [1] Assesment, C. E. (2020). Single Ventilator Use to Support Multiple. ECRI.
- [2] Branson, R., Blakeman, T., Robinson, B., & Johannigman, J., (2012). Uso de un solo ventilador para apoyar a 4 pacientes: evaluación de laboratorio de un concepto limitado. *Atención respiratoria*, 399-344.
- [3] Butcher, R., & Boyle, M. (2016). Mechanical Ventilation Learning Package. Liverpool: Liverpool Hospital.
- [4] Cengel Y. A., Boles M.A., *Termodinámica*, 7ª Edición, Editorial Mc Graw Hill, México 2012.
- [5] Cengel Y. A., Cimbala J.M., *Mecánica de Fluidos (Fundamentos y Aplicaciones)*, 1ª Edición, Editorial Mc Graw Hill, México 2006.
- [6] Colice, G. (2006). Historical perspective on the development of mechanical ventilation. In: Martin J Tobin. *Principles & Practice of Mechanical Ventilation*. New York: McGraw-Hill.
- [7] Gutierrez Muñoz, F., (2011). *Mechanical Ventilation*. Acta Med Per, 18.
- [8] Hernandez, A., & Triolet, A. (2002). Modos de ventilación mecánica. *Revista Cubana de Medicina Intensiva y Emergencias*, 82-94. www.focus.it/scienza/salute/covid-19-come-funzionano-i-ventilatori-pulmonari
- [10] Loeches, I., De Haro, C., Dellinger, P., Ferrer, R., & Levy, M. (2013). Effectiveness of an inspiratory pressure-limited approach to mechanical ventilation in septic patients. *European Respiratory Journal*, 48, 8. doi:10.1183/09031936.00221611
- [11] Mott R.L., Untener J.A., *Mecánica de Fluidos*, 7ª Edición, Editorial Pearson, México 2015.
- [12] Ortiz, G., Dueñas, C., Lara, A., Garay, M., & Blanco, J. (2013). Bases de ventilación mecánica. *Acta Colombiana de cuidado intensivo*, 29.

Anexo 2. Correo de **Aceptación del artículo** y modalidad de pago

The screenshot shows a Gmail interface with the following elements:

- Header:** Gmail logo, search bar with "Buscar correo", and utility icons (help, settings, app menu).
- Sender:** International Research Publication House <irpeditor@gmail.com>
- Received:** sábado, 3 de abril de 2021 03:06 a. m.
- Recipient:** Gonzalo Guillermo Moreno Contreras <gmoren@hotmail.com>
- Subject:** Re: Sutmit new paper
- Body:**
 - Greeting: Dear Gonzalo Guillermo Moreno Contreras
 - Paper Code: 20902-IJERT
 - Acceptance notice: "We are very pleased to inform you that your paper 'Design of a unidirectional valve for mechanical respirator duplicator, during Covid-19 times in Colombia', is accepted by our Editor-in-chief for our journal, International Journal of Engineering Research and Technology)"
 - Request: "Please find the attached copyright transfer form for your accepted paper"
 - Cost: "Publication cost: US\$ 350 per article (+US\$ 40 if paying by bank transfer or US\$ 78 by PayPal)"
 - Additional info: "In Addition to Maximum 5 Authors Allowed \$100 per author extra charges."
 - Publication charge includes following services:**
 - Ø Publication charges, Paper handling fee
 - Ø Free color for online version
 - Ø Soft Copy of Certificate of Publication
 - Ø Free 25 reprints set/PDF copy,
 - Ø Online hosting of the journal
 - Ø Formatting. Typesetting