

Desarrollo de un ventilador mecánico de emergencia basado en turbocompresor axial

Development of a mechanical fan based on axial turbocharger

Roberto Breslin¹ y Pablo Rodrigo Narvárez¹

Ingeniería Electrónica
artículo científico

Citar: Breslin, R. D. y Narvárez, P. (2020). Desarrollo de un ventilador mecánico de emergencia basado en turbocompresor axial. *Cuadernos de Ingeniería*, 12. Recuperado de <http://revistas.ucasal.edu.ar>

Recibido: julio 2020
Aceptado: noviembre 2020



Resumen

La pandemia de COVID-19 ha sido el motorizador de una serie de desarrollos en todos los ámbitos de la biotecnología en razón de la peligrosidad del virus, su alta tasa de contagio y su peligrosidad en relación a la letalidad de los pacientes. Estos trabajos han tenido varios objetivos, uno de los cuales ha sido el de proveer sistemas de atención a pacientes en situaciones de emergencia sanitaria. Ante la posibilidad de colapso de las salas de tratamiento intensivo, uno de los equipos más requeridos para poder atender a pacientes que no tengan espacio en las UTI es el ventilador de asistencia respiratoria.

El grupo de trabajo perteneciente al Instituto de Estudios Interdisciplinarios de Ingeniería (IESIING), de la Universidad Católica de Salta, se abocó al desarrollo de un modelo de ventilador de emergencia que pudiera ser replicado con mínimos conocimientos de electrónica, con componentes comunes y el uso de impresoras 3D. Así se produjo un prototipo que cumple con todas las expectativas basadas en el uso de un turbocompresor axial, como consecuencia del estudio de las diversas posibilidades de adaptación de sistemas para ventilación mecánica.

Palabras clave: ventilador, respirador, turbocompresor

Abstract

The covid-19 pandemic has been the driving force behind a series of developments in all areas of biotechnology due to the dangerousness of the virus, its high rate of contagion and its dangerousness in terms of patient mortality; these developments have had several objectives, one of which has been to provide patient care systems in health emergency situations. Given

¹ Facultad de Ingeniería. UCASAL. Argentina

the possibility of the collapse of intensive treatment rooms, one of the most required equipment to be able to attend patients who do not have space in the ICUs is the respiratory assistance ventilator.

In this sense, the development group belonging to IESIING, from the Catholic University of Salta, focused on the development of an emergency fan model that could be replicated with minimal

knowledge of electronics with common components and the use of 3D printers. Thus, a prototype was developed that meets these expectations based on the use of an axial turbocharger, as a result of studying the various possibilities of adapting systems for mechanical ventilation.

Keywords: fan, respirator, turbocharger

1. Introducción

A partir de la irrupción de la pandemia por coronavirus en todo el mundo, desde la Universidad Católica de Salta, surgió la inquietud en un grupo de docentes de desarrollar respiradores con la premisa de que los mismos puedan ser replicados en forma sencilla con componentes estandarizados de fácil accesibilidad en la mayoría de los mercados y con la posibilidad de construir partes aplicando la impresión 3D. A tal efecto el equipo de investigación adhirió a numerosos desarrollos en este mismo sentido que se realizaron en todo el mundo, los cuales, en su gran mayoría partieron de la posibilidad de usar un sistema con resucitador-manual o bolsa-autoinflable, es decir un dispositivo manual para proporcionar ventilación con presión positiva para aquellos pacientes que no respiran o que no lo hacen adecuadamente que se denomina Ambú (del inglés Airway Mask Bag Unit), para lograr un equipo que sea confiable de bajo costo y factible de ser usado y construido en situaciones de emergencia. Se usaron diseños de equipos que fundamentalmente hacen algún grado de presión sobre un Ambú y a los que se le puede controlar la frecuencia de la presión que se ejerce sobre el Ambú así como el grado de penetración de una leva que en teoría permite controlar también el volumen de aire que puede proporcionar el Ambú. Estos desarrollos fueron canalizados con diferentes tecnologías, algunas más económicas, pero siempre cumpliendo la premisa de que el material pueda ser factible de conseguir en el mercado local; por ello se implementaron con dos tecnologías. Una de ellas, con un motor paso a paso como elemento generador del movimiento, el cual permite regular efectivamente, todos los parámetros de presión y frecuencia de accionamiento en el Ambú. También se usó una tecnología con un motor de corriente continua que permite la variación por modulación de ancho de pulso de los mismos parámetros, usando la carrera total de una leva de presión sobre el elemento elástico emergencia tales como el proyecto Open Source COVID19 Medical Supplies (*Esta iniciativa española diseñará.....,2020*).

Un elemento de asistencia respiratoria de estas características conlleva a pensar que el mencionado equipo va a ser usado sobre todo fuera de las áreas de terapia intensiva ya que las mismas cuentan con respiradores de alta tecnología que contemplan todos los parámetros necesarios para el adecuado tratamiento y están en manos de terapeutas especializados en su manejo.

Se parte de la premisa que este equipo de ventilación mecánica asistida, no será necesariamente utilizado en un área de terapia intensiva sino, eventualmente, en áreas de primer nivel

de atención de emergencia, con pacientes que no revistan una extrema gravedad, pero que presenten dificultades respiratorias importantes.

Por lo tanto se debe caracterizar la operación de este equipo de emergencia dentro de las reales posibilidades de uso y es por ello que se debe especificar en primer lugar cuáles son los modos de operación que tiene un ventilador

El sistema basado en Ambú como método de ventilación mecánica asistida a largo plazo no es factible para la curación de un pulmón en un área hospitalaria que no sea una unidad de cuidados intensivos y aún en la unidad de cuidados intensivos no resulta la mejor opción para una estadía de largo plazo

2. Características adoptadas para el desarrollo de un ventilador mecánico

Un ventilador debe contar con una estructura que comienza con un sistema mezclador, que permite utilizar una concentración de Oxígeno conocida y comprendida en un intervalo del 21 % hasta cerca del 100 % para el gas inspirado. Mediante una válvula proporcional y su rango de apertura se realiza la mezcla deseada, y para que esto ocurra de forma adecuada, la presión de los gases medicinales deberá ser constante y equivalente.

Además, cada conducción de gas debe disponer de válvulas unidireccionales para evitar la contaminación por retorno de un gas sobre el otro, evitando el flujo retrógrado de una tubería sobre la otra. En algunos ventiladores esta mezcla se acumula en reservorios o fuelles, que actúan como cámara de mezcla. Existen ventiladores que no precisan suministro de aire comprimido y éste se genera mediante una turbina que comprime el gas procedente del aire ambiente.

Es este último paradigma de provisión del gas necesario el que se decidió utilizar en el proyecto desarrollado, es decir, que una turbina sea la generadora del aire necesario.

Con base en las experiencias de la modulación de ancho de pulso, se aplicó este concepto para el manejo de turbina, tal que con la modulación de ancho de pulso se puede regular absolutamente todos los parámetros de operación en las distintas etapas del proceso, las que, según Buforn, Artacho y Torre Prados (2012) son:

- A- Insuflación: La turbina genera una presión sobre un volumen de gas y tras la apertura de la válvula inspiratoria lo moviliza insuflándolo en el pulmón (volumen corriente) a expensas de un gradiente de presión entre los alvéolos y el flujo inspiratorio. La presión alveolar va aumentando conforme los alvéolos se van insuflando hasta el final de la inspiración que se alcanza la presión alveolar máxima o presión de insuflación o presión pico que está en relación con la resistencia total respiratoria (al flujo y elástica)

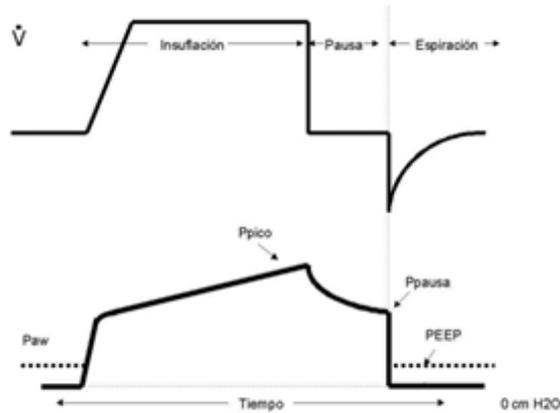


Figura 1: Curvas de Volumen (superior) y Presión alveolar (inferior), del ciclo Ventilación Mecánica (Buforn, Artacho, Torre Prados, 2012).

B- Meseta: El gas introducido se mantiene durante un tiempo regulable (pausa inspiratoria) en el interior del pulmón para facilitar su distribución por unidades alveolares. La presión medida en la vía aérea o presión meseta corresponde a la presión alveolar y depende de la compliance pulmonar.

C- Deflación: Se inicia con la apertura de una válvula espiratoria y ocurre de forma pasiva dependiendo sólo de la retracción elástica del pulmón insuflado

Si bien los respiradores incorporan una válvula que puede mantener una presión positiva al final de la espiración o PEEP (Positive End Expiratory Pressure), en el caso del desarrollo actual hay una única válvula denominada válvula bidireccional inspiratoria - espiratoria que hace el trabajo completo.

En el presente diseño se ha utilizado como elemento de propulsión del aire un turbocompresor axial, la razón de la selección es, su fácil construcción, a lo que se le suma la posibilidad de establecer una turbocompresión axial por etapas, lo que permite aumentar la presión del aire del turbocompresor. En el prototipo se usó una única etapa, permitiendo de esta forma el aumento de la presión del aire hacia los sistemas del paciente.

3. Diseño del ventilador por compresor de flujo axial

3.1 Turbocompresor

Este tipo de compresor comprime su fluido de trabajo primero acelerándose mediante una corona giratoria de álabes y posteriormente desacelerándolo en una corona estática, a la vez esta desaceleración llevada a cabo en un estator convierte el incremento de velocidad obtenida en el rotor, en un incremento de presión.

La corona de álabes fijos es frecuentemente utilizada a la entrada del compresor para asegurar que el fluido entre al rotor en el primer paso con un ángulo determinado por la posición de éstos; en todos los casos se utiliza algún tipo de estator. En el caso del sistema utilizado, se ha empleado el estator como colector de presión en forma directa y conectado a las mangueras de paciente.

En un turbocompresor la reducción del área de flujo compensa el incremento de la densidad del fluido al ser comprimido, permitiendo así una velocidad constante en el eje axial

En la Figura 2 también se puede observar que la reducción del área de flujo compensa el incremento de la densidad del fluido al ser comprimido, permitiendo así una velocidad constante en el eje axial



Figura 2: Implementación 3D de Turbocompresor de flujo axial

En la Figura 2 se puede ver el tipo de turbocompresor axial de una etapa. El diseño está basado en tipo de turbocompresor axial de una etapa con salida de diámetro de media pulgada para la conexión a un sistema de sensado de caudal y de presión. Al haberse usado una hélice estandarizada, se adoptó el tipo de álabe curvo para turbina de impulso

La velocidad de rotación del rotor del turbocompresor axial está regulado mediante la técnica de modulación por ancho de pulso o PWM (Pulse Width Modulation); de esta forma se puede lograr:

- regular la frecuencia del ciclado completo mediante la variación del PWM de un valor alto a uno bajo siguiendo una rampa de duración regulable
- regular la velocidad de sus aspas con lo cual se regula la presión de inspiración
- regular mediante la velocidad de sus aspas la presión en el ciclo de pausa

Al tener el control total de la turbina, se regula el tiempo que dura cada una de las etapas del ciclado y de esta forma se puede controlar la etapa de inspiración, espiración y meseta.

La electrónica digital está basada en un microcontrolador y la electrónica de potencia está conformada por un sistema de Puente H para el control del motor de corriente continua que abastece de movimiento a la hélice del turbocompresor axial.

3.2 Válvula de inspiración- expiración

La siguiente etapa de un ventilador está conformada por la válvula mencionada de inspiración - expiración.

El objetivo de esta válvula es brindar un flujo de camino directo a la inspiración cuyos valores de flujo tiempo y presión están controlados por el turbocompresor axial en la primera fase de funcionamiento. En la segunda fase debe brindar un camino de retorno a la expiración con una presión positiva controlada por la propia turbina y por el grado de apertura que tiene la válvula, es decir, que la posición de inspiración de esta válvula brinda un camino de 100% del diámetro del pasaje del fluido en la fase 1 y en la fase 2 que es la de expiración tiene una regulación de presión variable en función a la apertura.



Figura 3: Válvula bidireccional servocontrolada

En la Figura 3 se puede apreciar uno de los modelos preliminares de la válvula bidireccional servocontrolada. La misma cumple una doble función, en una posición permite el pasaje del flujo de aire de inspiración con una máxima apertura de un canal destinado a la función inspiratoria y posee otro canal para función expiratoria; en el mismo se debe asegurar la presión positiva PEEP (Positive End Expiratory Pressure) mediante la posición del servomotor; es en esta posición donde el servomotor posibilita una restricción del canal de expiración para brindar presiones desde los 5 cm de H₂O en adelante.

Para ello se diseñó una pieza especial que es accionada por un servomotor de 49.0333 Newtons de empuje

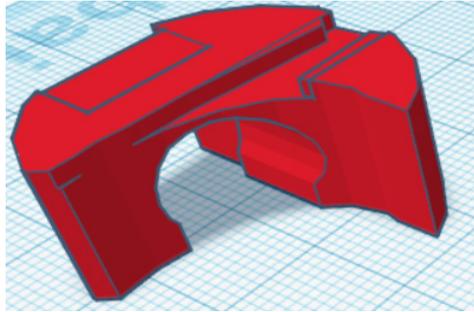


Figura 4: Pieza interna de la válvula bidireccional servocontrolada

Se puede observar en la Figura 4 el pasaje de aire franco en la zona central de la válvula y en el lateral derecho una zona curva, que es la que posibilita la obstrucción proporcional del pasaje de aire de expiración regulada por el ángulo que adopta la válvula controlada por el servomotor

Comprobada la viabilidad de hacer una válvula de este tipo se realizó otro prototipo de válvula bidireccional, accionado en este caso con motor paso a paso para el aprovechamiento de válvulas de tipo esférica estandarizadas, de forma de lograr una mayor precisión en el movimiento y una mayor hermeticidad.



Figura 5: Válvula bidireccional basada en motor paso a paso

Esta válvula tiene características muy mejoradas respecto a la válvula servocontrolada ya que permite que el paso del motor puede regular variaciones de ángulo de hasta 0,5 grados lo cual permite un control de mayor precisión de la presión de expiración a su vez tiene la ventaja de una absoluta hermeticidad respecto al flujo de aire de entrada. Al mismo tiempo permite un control muy detallado de las presiones tanto de inspiración como de la presión de expiración PEEP.

3.3 Acople sensor

En la etapa final se ha desarrollado una pieza fundamental para la medición de todas las circunstancias de presión que van a dar lugar al control de las válvulas correspondientes y de la hélice de turbocompresor axial, así como de las alarmas correspondientes a las situaciones de presión positiva excesiva, presión negativa excesiva y presión normal.

Para evitar la caída de presión en el tubo de conexión a la mascarilla en las situaciones de caída de presión se ha colocado la toma del sensor de presión en el punto más cercano al paciente es decir en las proximidades de la mascarilla hermética.



Figura 6: Sensor de presión y adaptador a mascarilla

3.4 Sensor de presión

Mediante el estudio de las características del sistema se optó por un sensor electrónico de presión del tipo Mpx100 el cual posee características ideales para el diseño actual, que debe considerar las mediciones desde valores bajos de presión, tal como 5 cmH₂O, y superiores.

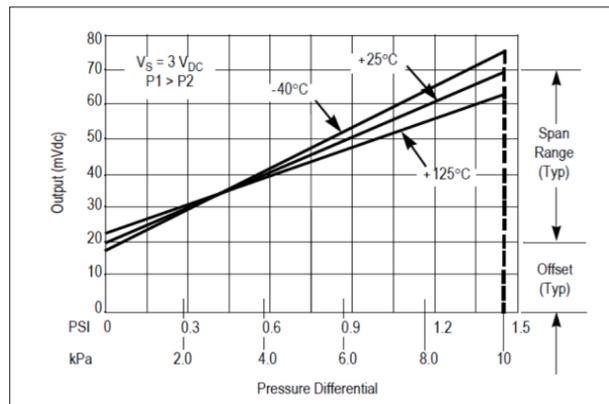


Figura 7: Características de linealidad del sensor de presión MPX100. Fuente MPX100 Datasheet (PDF) - Motorola, Inc

En la Figura 7 se puede ver la característica de presión versus salida de tensión del sensor y se puede observar que tiene una gran linealidad para diferentes temperaturas, especialmente para 25 grados centígrados. El rango de trabajo que se considerará estará entre los valores de 0,5 KPa correspondiente a 5 cm de agua y aproximadamente 3 kPa, por lo que el sensor resulta adecuado para las mediciones que se desean realizar.

3.5 Electrónica de Control y visualización

Para comprender el funcionamiento del sistema se debe tener en cuenta que hay una electrónica de control (Figura 8) que actúa sobre la válvula bidireccional cambiando la posición angular de la misma mediante un servomotor y sobre el motor del turbocompresor, cambiando la velocidad de giro.

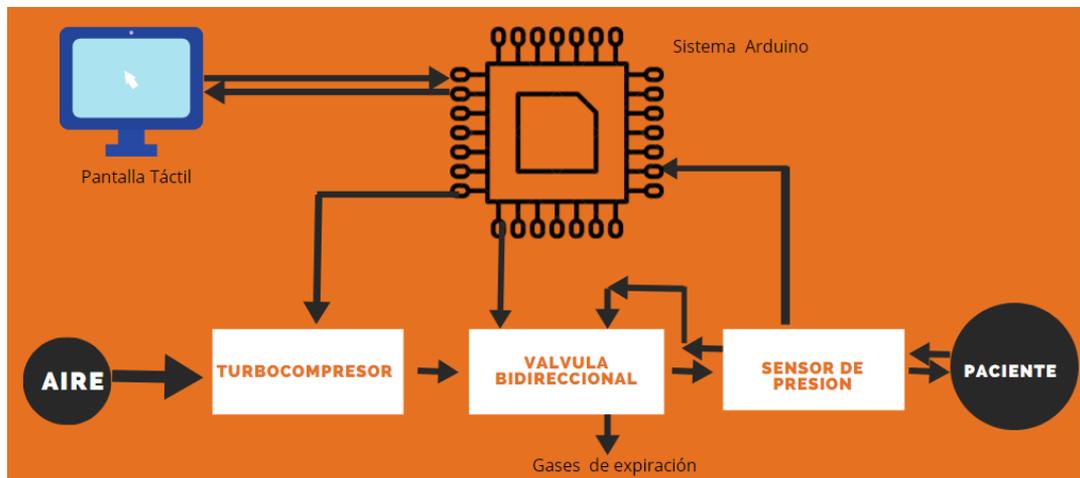


Figura 8 : Diagrama en bloques del sistema de control

Se ha diseñado un sistema electrónico de control y sensado para poder controlar la totalidad del sistema; de esta forma se incluye una pantalla táctil



Figura 9: Pantalla táctil de control y seteo

En la Figura 9 se aprecian los botones que permiten regular los siguientes parámetros

- Aumento y disminución de frecuencia
- Aumento y disminución de la frecuencia de parada meseta
- Aumento y disminución del tiempo de activación
- Aumento y disminución de tiempo de parada
- Encendido y parada

El software incorporado en el dispositivo permite ver los valores de presión y control, además permite visualizar la gráfica de presiones y las alarmas (Figura 10).



Figura 10: Gráficas de sensado de presión

De esta forma se completa un sistema integrado que permite el desarrollo de un modelo experimental de ventilador que tiene características de poder ser usado en situaciones de emergencia en áreas hospitalarias destinadas a la atención de pacientes que no presentan extrema gravedad, pero que sí necesitan algún tipo de asistencia ventilatoria para poder dar lugar a la curación de sus pulmones y tener una situación de mayor comodidad disminuyendo la angustia causada por el síndrome respiratorio. El equipo no tiene componentes críticos a excepción del amplificador operacional destinado al sensor de presión que debe tener las características de ser

un amplificador de instrumentación, con muy baja tensión de offset, alta impedancia y tener la posibilidad de variación de su ganancia; el AD623 N es aquel que mejor cumple estas especificaciones.

4. Conclusiones y recomendaciones

Luego de un análisis pormenorizado de las posibilidades de implementación de sistemas de emergencia de asistencia ventilatoria a pacientes en salas de emergencia, no de terapia intensiva, se decidió por el desarrollo de un diseño de ventilador basado en turbocompresor axial, ya que este sistema permite una adecuada respuesta a la premisa inicial y se constituye como una plataforma de desarrollo para otras implementaciones asociadas con las enfermedades respiratorias, tal como EPOC.

Se juzga que uno de los objetivos principales de esta propuesta fue logrado satisfactoriamente, ya que todas las piezas y la electrónica desarrollada son sencillas de implementar y las piezas impresas con impresora 3D están disponibles para su reproducción

Este desarrollo es un diseño a nivel prototipo, que requiere una expansión posterior, pero fundamentalmente requiere la validación en todas sus etapas para hacer posible su utilización en pacientes reales en el ámbito para el que fue diseñado, por lo que se requieren realizar las etapas correspondientes de acuerdo a las normativas vigentes en el área de los sistemas de salud, generando de ser necesario las mejoras y adaptaciones requeridas.

Referencias

Bufo, A., Artacho, C y Torre Prados, M. (s.f.). Ventilación Mecánica. *Hospital universitario Virgen de la Victoria Málaga*. Recuperado de: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjok8WtgK_sAhWqIrkGHZKNCbcQFjAAegQIBBAC&url=http%3A%2F%2Ffiles.sld.cu%2Ffanestesiologia%2Ffiles%2F2012%2F06%2Fventmeca.pdf&usg=AOvVaw3fX-N7zYSzQhjCTokfoq9y

Esta iniciativa española diseñará respiradores artificiales baratos contra el coronavirus. (2020). *El Español*. Recuperado de: https://www.elspanol.com/omicron/20200314/iniciativa-espanola-disenara-respiradores-artificiales-baratos-coronavirus/474454447_0.html

Roberto Daniel Breslin

Ingeniero Electricista con Orientación Electrónica, Magister en Dirección Estratégica de Telecomunicaciones y Especialista en Educación y TICS, Técnico Electrónico. Se desempeña como Jefe de la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones de la Universidad Católica de Salta y como Docente Adjunto en Sistemas de Conmutación y Auxiliar en Antenas. Docente de Electrónica, Bioelectrónica y Electrotecnia en UFIDET. Investigador del IESIING (Instituto de Estudios Interdisciplinarios de Ingeniería- UCASAL). Ex Director General de Educación Superior de la Provincia de Salta.

rbreslin@ucasal.edu.ar

Pablo Rodrigo Narváez

Ingeniero Electrónico, Especialista en Redes de Datos y doctorando de Ingeniería en la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología (FACET) de la U. N. T. Profesor Adjunto en Electrónica, Mediciones Eléctricas y Electrónicas, Técnicas Digitales, Análisis de Señales y Electrónica Aplicada a Plantas Transmisoras. Investigador del IESIING (Instituto de Estudios Interdisciplinarios de Ingeniería-UCASAL). Posee una extensa trayectoria en el ámbito privado a través de desarrollos de automatismos.

pnarvaez@ucasal.edu.ar