



#airgyver

T O D O S A L D R Á B I E N

Iniciativa Open Source

Respiradores de emergencia basados en
componentes industriales de alta
disponibilidad

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

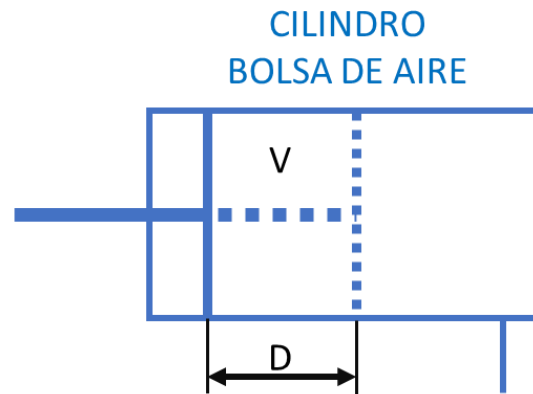
¿Qué es #AirGyver?

#AirGyver es un equipo creado con componentes industriales extendidos en todo tipo de industrias, y con una alta disponibilidad de distribución, con la intención de convertirse en un ventilador de emergencia que pueda utilizarse como medida paliativa ante la escasez de ventiladores comerciales durante la situación de emergencia sanitaria producida por la pandemia COVID-19.

Las principales premisas en el diseño y desarrollo de este prototipo han sido la robustez y fiabilidad de los componentes utilizados, la compatibilidad y estandarización de estos componentes entre diferentes fabricantes, y como premisa principal, el uso de componentes de fácil acceso para habilitar una fabricación ágil en una hipotética situación de crisis.



Siguiendo estas premisas, el equipo se basa en una bomba de aire creada a partir de el uso de un actuador neumático de manera inversa a como se utiliza habitualmente. Dicho actuador, una vez limpio o incluso esterilizado se lubrica con un lubricante especial inocuo, y se utiliza como “pulmón”, creando una bomba de aire con un volumen controlado. Esta bomba de aire se consigue desplazando el vástago de dicho actuador de manera controlada. El volumen de aire en cada desplazamiento es el equivalente a multiplicar el área del cilindro por el desplazamiento ejercido.



A este principio de funcionamiento se le ha añadido un control y una regulación electrónica basada en un dispositivo PLC (*Controlador Lógico Programable*) mediante el cual se implementan una serie de funcionalidades útiles para el tratamiento del síndrome de dificultad respiratoria aguda (SDRA) producido por el SARS-CoV-2.

Funcionalidades

#AirGyver es un equipo ideado para aplicar técnicas de respiración obligatoria por control de volumen (VCV), donde mediante el control y la regulación electrónica el usuario del equipo pueda configurar una serie de parámetros de funcionamiento. También se puede visualizar y controlar los parámetros del último ciclo inspiratorio. Adicionalmente al VCV el sistema permite también un control por presión inspiratoria controlando los límites de presión, así como un modo de ventilación sincronizado en el que mediante una variación de presión puede detectarse cuando el paciente inicia la respiración voluntaria. Los parámetros con los que se puede interactuar a través del interfaz son los siguientes:

- Volumen tidal
- Ratio de inspiración / espiración (I:E)
- Presión positiva al final de la respiración (PEEP)
- Tiempo de pausa.
- Límites de presión
- Flujo de aire, y en consecuencia frecuencia respiratoria
- Modo sincronizado (trigger)

Además de estos valores de consigna, el usuario puede consultar en tiempo real tras cada ciclo respiratorio los valores obtenidos para los siguientes parámetros:

- Volumen tidal inspirado
- Tiempo de inspiración
- Tiempo de espiración
- Frecuencia respiratoria (RPM)
- Presión máxima alcanzada
- Presión al final de la respiración
- Gráfica de ciclo de presión
- Gráfica del ciclo de volumen inspirado

Este control electrónico permite además la programación de una serie de alarmas que pueden lanzar avisos al interfaz del equipo, o mediante algún otro sistema de alarma visual o sonora. En un principio se han considerado los siguientes casos de aviso:

- Fallo de funcionamiento
- Exceso de presión en la inspiración
- Volumen tidal no alcanzado
- Presión PEEP no mantenida.
- Fallo de alimentación del equipo
- Fallo de presión de control

Elementos funcionales

Bomba de Aire

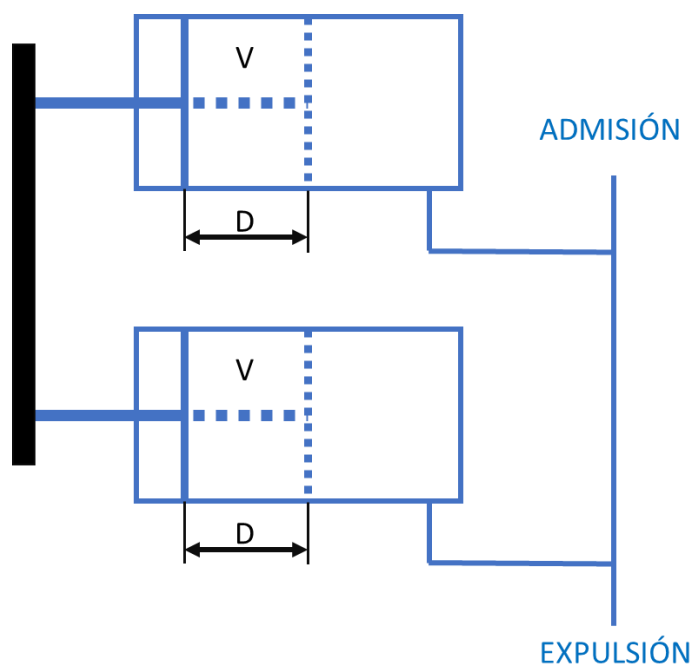
Bomba de desplazamiento positivo

La bomba de aire es el componente principal del equipo #AirGyver. Esta compuesta por uno o varios cilindros neumáticos situados en paralelo, mediante los cuales se puede configurar el volumen máximo de trabajo del equipo. Una de las cámaras de cada uno de estos cilindros está unida a un circuito de admisión y expulsión de aire, y es utilizada como reservorio de aire con volumen controlado.

En caso de contar con varios cilindros, sus vástagos están unidos mecánicamente de tal manera que el avance o retroceso de ambos cilindros se produce simultáneamente. Una vez se inicia el movimiento de los vástagos, a través del circuito de admisión se llena el reservorio de aire con la mezcla de gases adecuada, y una vez superado el tiempo programado en función de la frecuencia respiratoria configurada, este aire es insuflado al paciente a través del circuito de expulsión, mediante el movimiento de vástagos en sentido contrario.

El volumen de aire insuflado puede ser controlado mediante el control del avance de los cilindros:

$$Volumen = 2\pi R^2 \cdot Desplazamiento$$



En el caso del prototipo #AirGyver se han utilizado dos cilindros normalizados (Conforme a la norma ISO 15552 y con las previas DIN/ISO 6431 - VDMA 24562) en paralelo de calibre 50mm y 300 mm de carrera del fabricante CAMOZZI.

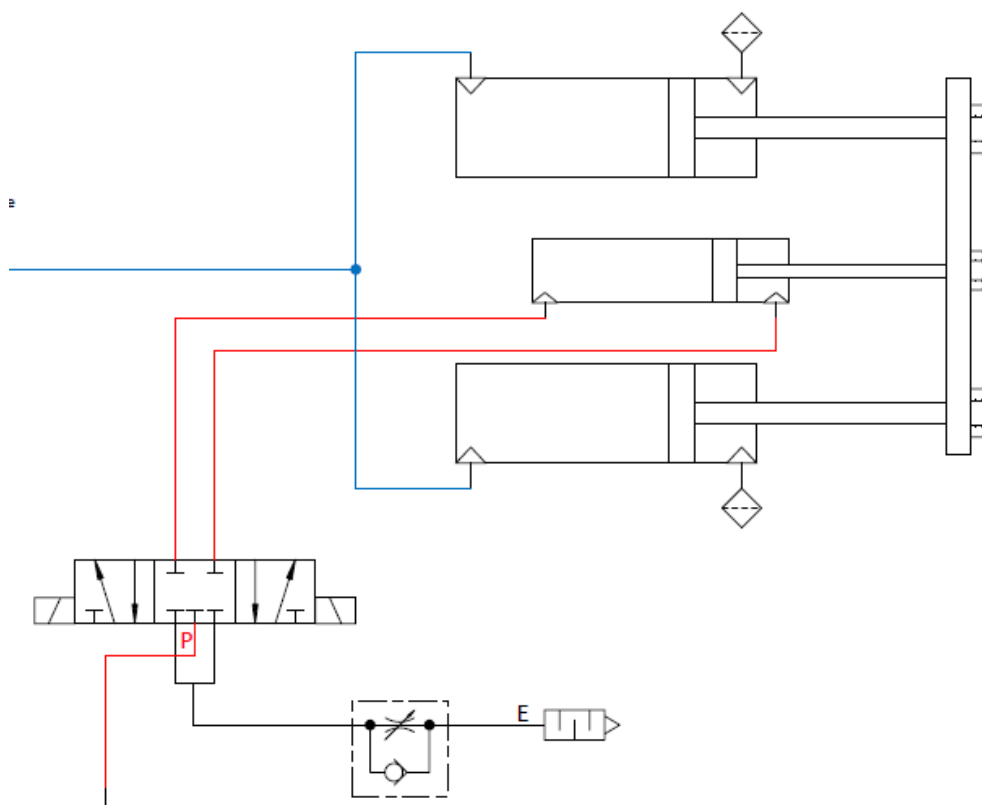
Actuador

La bomba de aire de desplazamiento positivo necesita de un actuador que ejerza el movimiento sobre los vástagos de los cilindros utilizados como reservorio de aire. Podría utilizarse cualquier actuador lineal que permita regular la posición y el avance como poner ejemplo un actuador eléctrico lineal, un sistema biela-manivela etc. En el caso del prototipo AirGyvier, siguiendo las premisas de simplicidad y disponibilidad de los componentes se ha utilizado un control basado en un actuador neumático y un circuito de regulación neumática.

Se ha utilizado un cilindro normalizado normalizados (Conforme a la norma ISO 15552 y con las previas DIN/ISO 6431 - VDMA 24562) de calibre 32mm y 200 mm de carrera. Este cilindro permite regular el movimiento con un margen de 50mm respecto al recorrido máximo del reservorio de aire. La capacidad máxima del equipo viene marcada pues por el avance de este cilindro, y el área de los dos cilindros anteriores utilizados como reservorio de aire:

$$Volumen\ máximo = 2 \cdot (\pi 25mm^2) \cdot 200mm = 785\ ml$$

El circuito neumático de regulación para dicho actuador es el siguiente:



Se utiliza una electroválvula 5/3 y 1/4 de calibre, para controlar el accionamiento del avance y retroceso del cilindro.

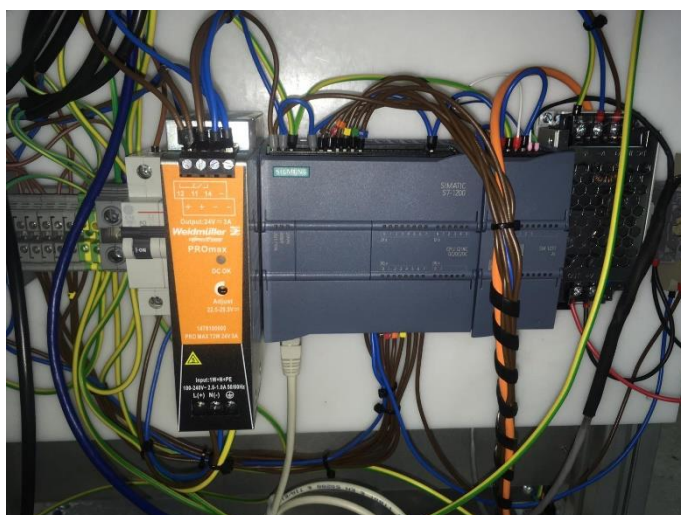
Para el control de la velocidad de avance y retroceso se utiliza a la salida de aire una válvula de regulación de caudal bidireccional, con la que el usuario puede modificar el caudal de aire. En paralelo con esta válvula puede montarse otra regulación fija de caudal que marque el caudal mínimo de trabajo, lo que supone regular la velocidad mínima de trabajo del equipo. Como

medida de seguridad, en la salida del cilindro de control se incorpora otro regulador de caudal al cual no tiene acceso el usuario y el cual es el encargado de regular la velocidad de avance máxima en caso de fallo en el sistema o rotura de los tubos de conexión del circuito de control. Este regulador deberá ser ajustado en el proceso de validación el dispositivo.

PLC

Para ejecutar toda la lógica de control y regulación del equipo #AirGyver se ha optado por utilizar un autómata industrial (PLC) el cual ofrece un alto grado de fiabilidad y robustez bajo las condiciones más extremas de trabajo.

Con el fin de conseguir la máxima capacidad de producción de equipos, se han utilizado señales estándar para el control de todas las entradas y salidas, de tal manera que se posibilite el uso de cualquier PLC independientemente del fabricante, modelo, o serie de la CPU.



En las señales digitales se ha utilizado el estándar industrial de 0-24 V, y en señales analógicas se han utilizado tarjetas de entradas analógicas de 0 a 10V.

Para el desarrollo del prototipo se ha utilizado una CPU del fabricante SIEMENS modelo CPU 1214C (6ES7214-1AG40-0XB0) y una tarjeta de entradas analógicas de 13 bits (6ES7231-4HD32-0XB0). El programa de este PLC ha sido desarrollado y depurado utilizando el entorno de programación TIA PORTAL en lenguaje KOP.

HMI

Como interfaz de usuario se ha decidido utilizar una pantalla táctil también del fabricante SIEMENS de tal manera que pueda integrarse tanto en el desarrollo del programa como en PLC a través de un bus PROFINET. Este tipo de comunicación habilita tanto la visualización de datos en tiempo real como la modificación de parámetros de control desde el interfaz.

En caso de utilizar otro fabricante de PLC, se asociaría su pantalla correspondiente mediante el uso del bus utilizado en cada caso.

Mediante este interfaz se pretende dar acceso a todas las funciones recogidas en el apartado “Funcionalidades” de este documento.



Además de la pantalla, como interfaz se incluyen dos reguladores neumáticos orientados al ajuste de dos parámetros:

- CAUDAL / RPM: se regula el caudal de funcionamiento del equipo, y en consecuencia el flujo de aire y las RPM.
- AJUSTE FINO PEEP: Regulador orientado a realizar un ajuste fino de la PEEP, permitiendo ajustar la presión postrespiratoria en rangos por debajo de los 5cmH2O.

Sensores

Posición

La posición del cilindro de control es una de las variables fundamentales del equipo #AirGyver, ya que a través de ella puede obtenerse directamente el volumen de aire expulsado a través del circuito de expulsión de la bomba de desplazamiento positivo. Dependiendo de las necesidades de configuración del volumen tidal pueden utilizarse distintas soluciones para monitorizar la posición.

En un escenario con 2 o 3 rangos de volumen tidal configurable puede utilizarse una solución basada en finales de carrera mecánicos o inductivos que monitoricen 2 o 3 puntos del recorrido del cilindro.

En el caso del prototipo se ha utilizado una monitorización continua de la posición del cilindro mediante el uso de un sensor de posición con tecnología laser del fabricante IFM modelo O1D100. También podrían utilizarse otras tecnologías como potenciómetros de hilo o reglas.



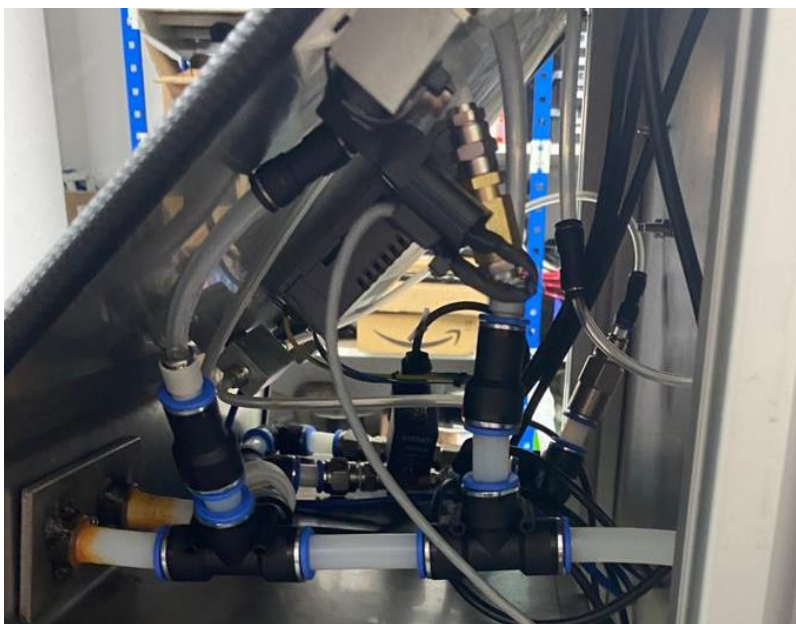
Presión

El equipo cuenta con dos sensores de presión, de tal forma que puede calcularse la presión diferencial entre la presión ambiental y la presión inspiratoria / espiratoria. Con el objetivo de asegurar el stock de los componentes se ha seleccionado un sensor de presión proveniente del sector de automoción, utilizado habitualmente para medir las presiones en la admisión de los motores de combustión.

El sensor seleccionado para el prototipo es la referencia 0 261 230 132 del fabricante BOSCH, compatible con infinidad de modelos de fabricantes como CITROËN, FIAT, FORD o PEUGEOT.



Este sensor se ha situado en el circuito inspiratorio, lo más cerca posible del conector frontal donde situar los tubos que llevan el aire hasta el paciente. Esta medida es usada para regular las presiones máximas de trabajo, así como poder realizar la regulación de la presión positiva post respiratoria (PEEP).



Electroválvulas

Para poder realizar las diferentes regulaciones tanto de paso de aire como de presión el equipo utiliza una serie de electroválvulas $\frac{1}{4}$ de pulgada y $\frac{1}{8}$ de pulgada. E

En el prototipo se están utilizando unas electroválvulas de accionamiento directo. En este tipo de válvulas, el núcleo móvil, montado con una junta de estanqueidad, es el que abre y cierra directamente sobre el orificio de la electroválvula. Cuando la bobina no está activa, el émbolo se encuentra cerrando el paso de la electroválvula, impidiendo el flujo de fluidos. Cuando damos tensión a la bobina hacemos que el núcleo móvil abra el orificio, permitiendo paso al fluido. Cuando dejamos de excitar a la bobina, el núcleo móvil, por medio del muelle que tiene, vuelve a la posición inicial. Este tipo de válvulas pueden abrir a partir de 0 bar.

Las pueden encontrar en rosca de $\frac{1}{8}$ " a $\frac{1}{2}$ ", de 2 y 3 vías, normalmente cerradas o abiertas, cuerpo en latón o inoxidable y con diferentes tipos de juntas de estanqueidad dependiendo de la temperatura y el fluido con el que trabajamos.



Regulación de la PEEP

Mediante el uso de la medida del sensor de presión, y la electroválvula de salida de 1/8 montada en serie junto con un regulador de caudal, se realiza la regulación y control de la presión post respiratoria. Esta regulación es electrónica controlada por el programa del PLC y puede ser modificada a través el interfaz en tiempo real.

Presión máxima de trabajo

Del mismo modo que se realiza la regulación de la PEEP, durante el transcurso del ciclo respiratorio a través del interfaz se pueden programar un valor máximo de presión de trabajo. En todo momento el programa del PLC está comprobando que la presión se encuentre por debajo de la presión máxima configurada. En caso de superarse esta presión, la bomba detiene la inyección de aire, y si es necesario se accionan las válvulas de expulsión para no sobrepasar el límite establecido.

Filtros

Adaptación para filtros comerciales, entrada respiratoria y expulsión de aire. Por ejemplo:

<https://es.intersurgical.com/productos/gestion-de-vias-aereas/filtros-respiratorios-hmes-y-hmefs>

Sistema de alimentación ininterrumpida (SAI)

El equipo cuenta con un sistema de alimentación ininterrumpida comercial que permite mantener un funcionamiento normal ante una situación de caída en el suministro eléctrico.