

---

# Ventilador mecánico no invasivo para atención domiciliaria

## Non-invasive mechanical ventilator for home care

---

**Nicolás Villaseca Carrasco**

<https://orcid.org/0000-0002-8258-5019>  
[villasecanicolas@yahoo.com](mailto:villasecanicolas@yahoo.com)

Sumar. Lima, Perú

**Raúl Villaseca Carrasco**

<https://orcid.org/0000-0002-7997-3010>  
[rvillasecac@unmsm.edu.pe](mailto:rvillasecac@unmsm.edu.pe)

Universidad Nacional Mayor de San Marcos,  
Facultad de Medicina. Lima, Perú

RECIBIDO: 09/01/2022 - ACEPTADO: 15/02/2022 - PUBLICADO: 28/02/2022

---

### RESUMEN

La infección por SarsCov2 produce el síndrome de distrés respiratorio severo, que lleva a la muerte. El año 2020, durante la epidemia Covid-19 se esperaba y ocurrió que en todos los hospitales colapsaran las unidades de cuidados intensivos (UCI), muchos pacientes murieron esperando tener acceso a un ventilador mecánico. En ese contexto nosotros logramos desarrollar un equipo que puede proporcionar asistencia ventilatoria no invasiva a los pacientes afectados, dándoles una oportunidad. Presentamos nuestros resultados, los mismos que no pudieron ser validados en modelos biológicos experimentales.

**Palabras clave:** Covid-19; apoyo respiratorio; ventilación asistida.

### ABSTRACT

SarsCov2 infection causes severe respiratory distress syndrome, leading to death. In 2020, during the Covid-19 epidemic, it was expected and happened that in all hospitals the intensive care units (ICU) would collapse, many patients died waiting to have access to a mechanical ventilator. In this context, we managed to develop a team that can provide non-invasive ventilatory assistance to affected patients, giving them an opportunity. We present our results, the same ones that could not be validated in experimental biological models.

**Keywords:** Covid-19; respiratory support; assisted ventilation.

## I. INTRODUCCIÓN

Lo que se había predicho para la pandemia Covid-19 ocurrió, los centros hospitalarios no pudieron atender y muchos pacientes murieron esperando acceder a un lugar para tener oxígeno. Ya se sabía que la progresión a falla ventilatoria aguda podía realizarse utilizando oxígeno a alto flujo o ventilación mecánica no invasiva (VMNI) (*Terapia de oxígeno de alto flujo y sistemas de presión positiva continua en pacientes adultos con COVID-19*, s. f.), la situación empeoró cuando la producción nacional de oxígeno fue insuficiente para cubrir la demanda. Frente a esta necesidad muchos investigadores a nivel mundial pusieron sus esfuerzos para dotar a la población de un medio alternativo frente a esta problemática. Nosotros iniciamos nuestras investigaciones el mes de marzo de 2020 (Raul Villaseca, 2020). Presentamos el desarrollo de un equipo para asistencia ventilatoria no invasiva de fácil construcción y operación el mismo que se puede utilizar en atención domiciliaria.

## II. OBJETIVO

Diseñar y fabricar un ventilador mecánico no invasivo, con aire a presión baja y con partes y componentes de fácil acceso en las condiciones de restricción internacionales que se impusieron durante la pandemia y, que permita en el domicilio atender

a una persona que ante una infección por el SARS-Cov2 (Covid-19) desarrolle una dificultad respiratoria leve a moderada.

El presente documento, informa de los resultados de nuestra investigación y debe ser validado y autorizado para el uso en humanos (ver Figura 1).

## III. MATERIALES Y MÉTODOS

El contexto de esta investigación es particular, pues se ha realizado durante la pandemia y el confinamiento social a nivel mundial, solo se podía contar con los equipos y materiales disponibles pues las importaciones locales o internacionales estaban limitadas.

A nivel mundial muchas universidades abrieron sus bases de datos (Pham et al., 2017) y en nuestro país se publicaba la norma técnica "Requisitos particulares para la seguridad básica y rendimiento esencial de ventiladores para cuidado crítico" (INACAL, s.f.).

Materiales:

- Case de un pc con su fuente de poder.
- Válvula de cinco vías diseñada e impresa en 3D.
- Motor de alta velocidad sin escobillas.

Figura 1

Vista frontal del equipo desarrollado



- Tarjeta de control basada en PIC 16F84A.
- Pantalla de cristal líquido.

**DESCRIPCIÓN TÉCNICA**

Se ha tomado como parámetros para el diseño los siguientes: El sistema debe proporcionar

**Frecuencia Respiratoria:** Valores de 10 a 30 respiraciones por minuto (rpm), con incrementos de 2 rpm.

**Relación de Inspiración a Expiración:** Relaciones de 1:1 1:2 y 1:3. Considerando una zona de meseta de 0.2 del tiempo de inspiración (ver Figura 2).

**Volumen Tidal:** De 250 a 800 mililitros (ml), con incrementos de 50 ml. En este caso se ha preferido por la consideración dada en el marco de este proyecto, que el valor dependa del ventilador centrífugo, en el orden de 240 ml.

Sistema de ventilación con aire a baja presión, controlado por microprocesador programado para tal fin, que permite seleccionar la frecuencia respiratoria y la relación Inspiración Expiración, con una fuente que se alimenta de 220 V de corriente alterna de la red domiciliaria convencional en el país.

Cuenta con un filtro de aire, para el ingreso de aire al paciente, y un filtro de salida de aire del paciente, considerando que estaría infectado por el virus.

El sistema es portátil y cuenta con un soplador centrífugo de aire, que funciona a 24 voltios de corriente directa, y trabaja hasta las 35,000 revoluciones por minuto, y produce una presión máxima de (7.5 kPa) 76.5 cm de H<sub>2</sub>O (Ver Tablas 1-3).

**Tabla 1**

*Sistema de control de flujo*

Ingresar Aire al Paciente	On	Off	Off
Sale aire de la turbina al exterior	Off	On	On
Sale aire del paciente al exterior	Off	On	On

**Tabla 2**

*Sistema de identificación de los controladores*

Ingresar Aire al Paciente	Relay 3	A3	Port A
Sale aire de la turbina al exterior	Relay 2	A1	Port A
Sale aire del paciente al exterior	Relay 1	B1	Port B

**Tabla 3**

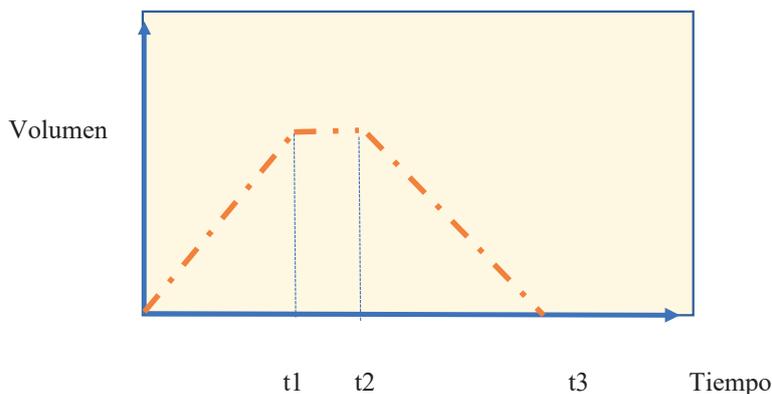
*Mandos de selección*

Modo	Selecciona para hacer cambios en Frecuencia Respiratoria y Relación Inspiración Expiración.
Sube	Incrementa la variable seleccionada por Modo, controlando el límite superior y paso especificado.
Baja	Decrementa la variable seleccionada por Modo, controlando el límite inferior y paso especificado.
Inicia	Empieza el servicio de asistencia, con los parámetros previamente establecidos.

**Desarrollo del proyecto**

La investigación se inició con dos modelos: uno basado en el uso de un Ambú accionado con un motor eléctrico, es un sistema simple y la idea es asistir manualmente a una persona con dificultad respiratoria, pero cuando esta asistencia tiene que ser por varias horas, el sistema manual tendría que mecanizarse, se siguió la tendencia en esos momentos de varias universidades (UPV Radiotelevisió (oficial), 2020).

**Figura 2**  
*Ciclo respiratorio considerado*



Se requería transformar el movimiento rotacional del motor eléctrico de alto torque, por un movimiento lineal que comprima al Ambú, este es el mecanismo para tal fin (ver Figura 3).

Se evaluó esta posibilidad, contando con la asistencia de Nicolás Villaseca Alf, sin embargo este sistema no lo pudimos implementar, por no contar con un motor que tuviera suficiente torque para comprimir el equipo y por la dificultad para filtrar el aire hacia el paciente y el exhalado por el paciente (World Economic Forum, 2020).

Posterior a este primer prototipo, se diseñó con un sistema de escala reducida con un generador de

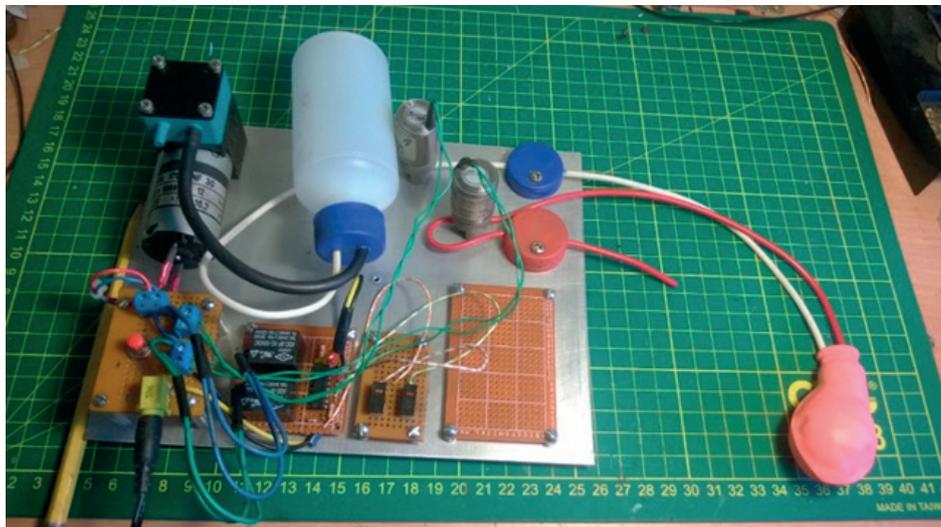
aire a baja presión, con sistema de válvulas controladas electrónicamente para el control del flujo de aire (ver Figura 4).

Para pasar a un prototipo funcional se evaluó el empleo de un balón de oxígeno medicinal, que de ser conectado en forma directa a nuestro sistema la presión que manejaba el sistema era muy superior a la tolerada por un paciente, pudiendo producir esta presión lesiones irreversibles a nivel pulmonar. El cilindro o balón de oxígeno contiene el gas a una presión de 2,000 psi (libras por pulgada cuadrada) y el tejido pulmonar de un paciente no tolera una presión mayor a 35 cm de altura de agua que es 0.5 psi.

**Figura 3**  
*Evaluación del uso del Ambú*



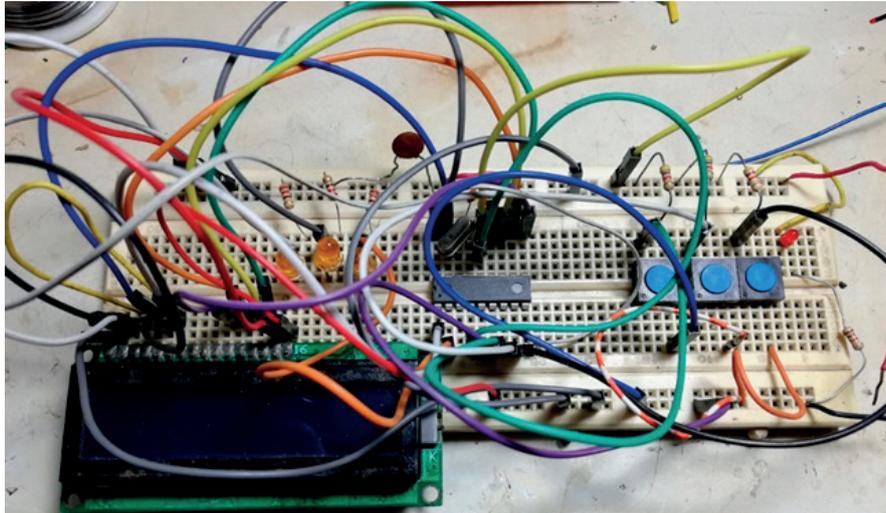
**Figura 4**  
*Primer prototipo a escala reducida*





**Figura 6**

*Circuito ensamblado en placa de pruebas*



**Tabla 4**

*Nivel de ruido en motores probados*

Soplador	Nivel de ruido	Comentario
Comercial de 600 vatios	70 dBA	Muy ruidoso y motor produce chispas
Centrífuga impresa 3D	No evaluado	Se descartó por producir muy poco volumen y presión de aire
Aspirador de humo	50 dBA	Útil como recurso opcional pero no es equipo usualmente disponible.
Motor WM 7040	60 dBA	Es el que adoptamos para nuestro sistema

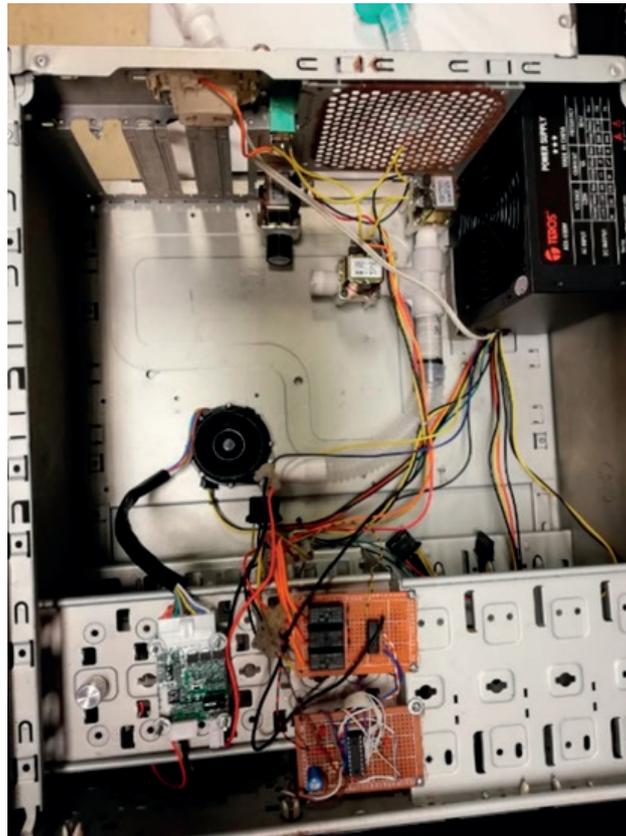
(Ver Figuras 7 y 8)

**Figura 7**

*Prueba con soplador comercial de 600W*



**Figura 8**  
Prueba con Motor WM 7040



revoluciones por minuto, y produce una presión máxima de (7.5 kPa) 76.5 cm de H<sub>2</sub>O

#### IV. RESULTADOS

Se muestrea el Equipo final, instalado con fuente de poder de 300W, sistemas de generación de aire a presión y válvulas de control de flujo, componentes electrónicos de control.

Las únicas válvulas comerciales que logramos encontrar son las utilizadas en sistemas domésticos de agua y como pudimos comprobar, requieren para dejar pasar el flujo de aire de una presión mínima de 0.02 MPa (mega pascales) que equivale a una presión mayor de dos metros de agua, lo que produciría lesión pulmonar al paciente.

Como el sistema que desarrollamos es de baja presión, con impresora 3D, se diseñó y fabricó una válvula de 5 vías accionada por servo motor controlado por el PIC, que reemplazo a las tres válvulas solenoides y sus relés de accionamiento (Ver Figura 9).

La medición efectuada en el sistema completo produjo: Volumen máximo proporcionado 75 litros/ minuto. Presión máxima proporcionada 42 cm de agua.

Debemos mencionar que el equipo cuenta con un filtro anti bacterial para llevar el aire al paciente y con un filtro antiviral, electrostático pasivo para el aire que expira el paciente. Siendo recomendable que el equipo sea testeado con los filtros virales/ bacterianos (F-HME) tanto en la vía inhalatoria y la exhaladora pues la verificación de la eficacia de estos filtros requiere procedimientos especializados (ver Figura 10).

#### Respecto a las conexiones al paciente:

Se ha utilizado un equipo comercial de tipo coaxial (el tubo corrugado inhalatorio y de exhalación va uno dentro del otro) y como mascarilla una de tipo descartable que por su cojín de aire circundante ofrece una mejor adaptación facial.

Vista posterior de ductos de aire, vista frontal del equipo en un Case de PC y del panel de control (Ver Figura 11).

**Figura 9**  
*Válvula de 5 Vías diseñada e impresa en 3D*



**Figura 10**  
*Filtros empleados en el sistema*



**Figura 11**  
*Vistas del Equipo final desarrollado*



## PRECAUCIONES DE UTILIZACIÓN

El usuario es el único responsable de su utilización, es un equipo experimental y para situaciones de extrema necesidad.

No debe ser usado sin la orientación profesional.

El usuario es responsable de su utilización apropiada.

Solo es aplicable para apoyo ante la Pandemia de Covi-19 si no tiene acceso a un centro de salud público o privado.

## USO DEL EQUIPO

Verifique que el sistema sea conectado a una toma estable de 220 voltios de corriente alterna.

Encienda el equipo con el botor ON-OFF.

Se debe seleccionar el MODO, la flecha en la pantalla apunta al ítem al que se puede cambiar su valor (Ver Figura 12).

Por defecto la Frecuencia respiratoria se ha configurado en 16 respiraciones por minuto, pudiendo variar de 10 a 30, en pasos de 2 respiraciones por minuto, debe ajustarse la que resulte más cómoda para el paciente.

Asimismo, por defecto la relación entre Inspiración / Expiración se ha colocado en 1:2, pudiéndose seleccionar 1:1, 1:2 y 1:3.

Los botones de las flechas de sube y baja, permiten modificar el valor del parámetro correspondiente, dentro de los límites que

se han establecido, considerando la frecuencia respiratoria que sea la que se adecue a su ritmo respiratorio.

Verifique que los filtros estén bien colocados y sean acorde a las necesidades de control de virus, esto es filtros electrostáticos pasivos (HME).

Vea que las mangueras y mascarilla estén en buen estado.

Una vez que se ha seleccionado los parámetros correspondientes, se instala la mascarilla al paciente. Se inicia la ventilación asistida con la tecla INICIO.

Verifique con frecuencia el estado del paciente.

Para apagar el equipo presione el botón ON-OFF.

Reemplace las mangueras y mascarillas, luego de usarlas.

## V. DISCUSIÓN

El equipo ha demostrado su utilidad práctica, alcanzándose los valores que se habían requerido para su funcionamiento y que se consideran apropiados, para la atención inicial de las pacientes afectados por la covid-19.

No hubo necesidad de utilizarlo como recurso de emergencia y no se pudo completar pruebas con biológicos experimentales por las restricciones impuestas ante la pandemia.

Figura 12  
Carátula del sistema de control



A nivel mundial se aprobó el uso de los equipos utilizados para el apnea del sueño (CPAP), nuestro equipo supera a estos artefactos por poseer un tiempo de expiración de muy poca resistencia (Arellano M. et al., 2020).

Es evidente que el siguiente paso para un paciente grave, ya sería una UCI, que además de un equipo con alternativas y seguridades ante fallos de elementos o sistema eléctrico, cuente con personal médico y paramédico que pueda atender a los pacientes en estas condiciones.

## VI. CONCLUSIONES

1. Se puede hacer un equipo que cumple con los condicionantes establecidos, por las entidades de salud, con materiales y métodos disponibles en el mercado actual.
2. El equipo puede ser usado para los estados iniciales de la afectación de la pandemia, y complementado con un concentrador de oxígeno o similar para una mejor atención a este nivel.
3. El equipo puede ser complementado con sensores y alertas, sobre el sistema y sobre el estado del paciente. Esto requeriría un sistema de cómputo y programación más desarrollada.
4. El proyecto sirve como base para otras actividades relacionadas con atención a personas con necesidad de soporte respiratorio.
5. Se adjunta el manual de instrucciones para uso del equipo

## VII. AGRADECIMIENTOS

A la Empresa SUMAR s.a., por el apoyo con sus instalaciones y recursos para el desarrollo del proyecto.

Al ingeniero Nicolás Villaseca Alí por desarrollar el prototipo con ambú, al Dr. Jorge Moscol Gonzales por permitir el uso de su impresora 3D, a la Dr. María Dionisio y Diana García por proporcionar las mangueras conectoras.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Arellano M., María Paola, Díaz P., Orlando, Narbona M., Pablo, Aguayo C., Miguel, Salas O., Javier, Leiva V., Víctor, Aguirre Z., Marcia, Maquilón O., César, Vega G., Fernando, Olave C., Cristián, Cisternas V., Ariel, & Florenzano V., Matías. (2020). Recommendations for using non-invasive ventilation in COVID-19 patients.

Revista chilena de enfermedades respiratorias, 36(2), 141-145. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-73482020000200141>

- [2] *Defensoría del Pueblo*. (29 de octubre de 2021). *Autoridades deben garantizar que no falte oxígeno medicinal durante posible tercera ola*. Defensoría del Pueblo Recuperado el 9 enero 2022 de <https://www.defensoria.gob.pe/defensoria-del-pueblo-autoridades-deben-garantizar-que-no-falte-oxigeno-medicinal-durante-posible-tercera-ola/>
- [3] Instituto Nacional de Calidad.(s.f.) Requisitos particulares para la seguridad básica y rendimiento esencial de ventiladores para cuidado crítico.Instituto Nacional de Calidad. Recuperado 9 de enero de 2022, de <https://servicios.inacal.gob.pe/cidalerta/buscadocdet.aspx?id=31877>
- [4] Pham, T., Brochard, L. J., & Slutsky, A. S.(2017). Mechanical Ventilation: State of the Art. <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2017.05.004>
- [5] Raúl Villaseca. [Raúl Villaseca] (25 de marzo 2020). *MaReAs, Máquina para Respiración Asistida*. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=Nt2-Gluph2Q>
- [6] Universidad de Antioquia.(2020). *Terapia de oxígeno de alto flujo y sistemas de presión positiva continua en pacientes adultos con COVID-19*. [https://docs.bvsalud.org/biblioref/2020/05/1095459/udea-uned\\_sintesisrapida\\_covid-19\\_terapiadeoxigeno\\_rapissynth\\_nPv9QjL.pdf](https://docs.bvsalud.org/biblioref/2020/05/1095459/udea-uned_sintesisrapida_covid-19_terapiadeoxigeno_rapissynth_nPv9QjL.pdf)
- [7] UPV Radiotelevisió. (31 de marzo 2020). *Ventilador mecánico para pacientes con Covid-19*. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=Pf3n59xPM4Y>
- [8] World Economic Forum. (3 de abril 2020). *Coronavirus Scientists and doctors at MIT are building innovative low cost ventilators*. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=x1L6O2gx3HE>

### Fuentes de financiamiento:

Propia.

### Conflictos de interés:

Los autores declaran no tener conflictos de interés.