

Modelo de ventilador artificial UTN contra Covid 19

UTN Artificial Ventilator Model Against Covid 19

Ana Beatriz Vargas Badilla

Universidad Técnica Nacional, Ingeniería Electrónica, Sede Central, Alajuela, Costa Rica

avargasb@utn.ac.cr

<https://orcid.org/0000-0002-0722-9460>

Heriberto Salazar Agüero

Universidad Técnica Nacional, Ingeniería Electrónica, Sede Central, Alajuela, Costa Rica

hsalazar@utn.ac.cr

<https://orcid.org/0000-0002-4431-0882>

Referencia/ reference:

Vargas, A. y Salazar, H. (2023). Modelo de ventilador artificial UTN contra Covid 19. *Yulök Revista de Innovación Académica*, Vol.7 (1), 31-39. <https://doi.org/10.47633/yulk.v7i1.571>

Recibido: 21 de junio del 2022

Aceptado: 9 de diciembre del 2022

Resumen

A inicios del año 2020 la pandemia del COVID-19 comenzó a propagarse, afectó y perturbó muchos países, particularmente la salud respiratoria de millones de habitantes del mundo, de manera que impactó la continuidad de los servicios hospitalarios, particularmente la demanda de equipos de asistencia respiratoria. Objetivo. Explicar el desarrollo y descripción del primer modelo de ventilador respiratorio elaborado en la Universidad Técnica Nacional (Costa Rica), Metodología. Conceptualización, organización, ensamblaje, ensayos y puesta en marcha, desde el contexto mecánico hasta la tecnicidad digital, llevado a cabo por estudiantes de la carrera Ingeniería Electrónica bajo la supervisión y guía de los autores de este artículo, el cual se convirtió en un destacable trabajo para la comunidad universitaria. Resultados. Los principales resultados proponen tabla de costos, fórmulas matemáticas en función a las variables que caracterizan el tema de la respiración, velocidad y periodos de inhalación y exhalación que se conjuntan con los elementos digitales y mecánicos hasta convertir en un dispositivo funcional para la salud. Conclusiones. Se creó un modelo funcional y económico que permite salvaguardar la vida, aplicando materiales PLA, hierro sobre una bomba ambu, gracias a un lenguaje de programación que favorece el control del dispositivo en el motor.

Palabras clave: modelo, ventilador, pandemia, covid19, electrónica.

Abstract

At the beginning of 2020, the COVID-19 pandemic began to spread and affect many countries, greatly disturbing the respiratory health of millions of inhabitants of the world, in such a way that it affected the continuity of hospital services, in many cases demanding medical equipment. respiratory assistance. Therefore, this global crisis also meant an opportunity for each sector to innovate and contribute to society to mitigate the effects of the pandemic. Therefore, the purpose of this document is to explain the development of the first respiratory ventilator model developed at the National Technical University, from its conceptualization, organization, assembly, testing and commissioning, from the mechanical context to digital technicality, which became a challenge for a group of students from the Electronic Engineering major, who were studying the subject of Power Electronics, in the Bachelor's section, who with the guidance of the authors of this article and despite the limitations that in its moment occurred as the reality of virtualization, closures and restrictions established by the government authorities, was not an impediment to carry out the model, which became a remarkable work for the university community. With this, among the results, a cost table is proposed, mathematical formulas working table according to the variables that characterize the subject of respiration, speed and periods of inhalation and exhalation that are combined with digital and mechanical elements so that it becomes a functional device for health in respiratory assistance. Therefore, thanks to the method and the findings, it is possible to create a functional and economic model that allows to save life, using PLA materials, iron on an ambu pump, thanks to a programming language that favors the control of the device in the motor.

Keywords: model, fan, pandemic, covid19, electronics.

Introducción

El respirador artificial o ventilador es un equipo tecnológico construido con el fin de ayudar a las personas afectadas por una insuficiencia respiratoria por motivos diversos como una neumonía que presenta dificultad al respirar de forma natural. Este modelo genera aire que es introducido a los pulmones por una bomba ambu que es accionada por un motor DC (corriente directa), el cual transmite el movimiento rotacional a un par de piezas mecánicas que simulan las manos de un humano mediante un eje y así proporciona flujo de aire al paciente. El sistema de automatización es controlado con una tarjeta electrónica Arduino, la cual contiene la programación destinada al funcionamiento del modelo.

El ventilador tiene una pantalla LCD (liquid-crystal display), un potenciómetro para el control, el cual permite al usuario definir el modo de operación, volumen, presión y frecuencia requerida. Este modelo es alimentado por una fuente de 24 voltios AC/DC. Se realizó con un costo de \$178 dólares estadounidense con el fin de poder demostrar que es fiable y se pueda construir para ayudar a la emergencia nacional ocasionada por la pandemia. Si bien es cierto, la herramienta no brinda una solución de cura directamente, no obstante, permite ayudar a los pacientes infectados que presenten dificultad al respirar. Estos modelos además de poder multiplicar la capacidad de ventilación pueden servir para gestionar el riesgo de cualquier incidente.

El impacto de esta herramienta contra la lucha del COVID-19 es muy positivo, debido a que actualmente no se cuenta con una gran capacidad de estos tipos de ventilación mecánica fabricados que puedan ayudar con la emergencia que está pasando el país, por lo que cada vez que haya un modelo nuevo y cumpla con todos los estándares establecidos por el ministerio de salud pueden llegar a salvar una vida humana.

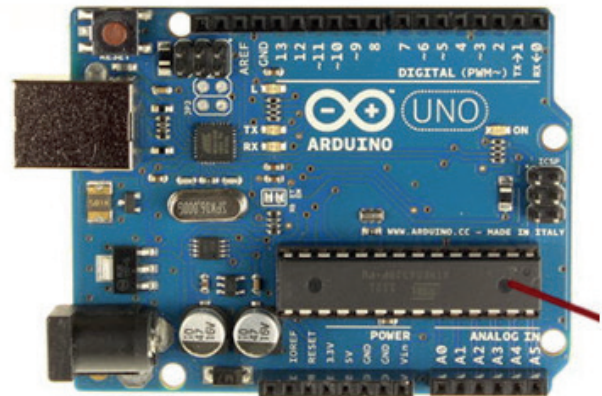
Referencial Teórico

En ocasiones las personas con insuficiencia respiratoria requieren un respirador artificial mecánico para ayudar en el proceso de inhalación-exhalación; el cual puede salvar vidas. Los respiradores artificiales se pueden utilizar de varias formas; generalmente, se coloca un tubo de plástico por las fosas nasales o en la boca hasta la tráquea. Si el individuo requiere ventilación mecánica por más tiempo, se puede poner el tubo en la tráquea a través

de una pequeña cisura en la parte antepuesta del cuello. Por lo general, una traqueotomía es más inequívoca y cómoda para la ventilación mecánica a mayor tiempo; gracias al tubo que se enlaza al respirador, según sea la necesidad del paciente. Existen muchos tipos de respiradores y formas de ejecución, por ejemplo, como indica Hernando & otros (2017) “Cuando un enfermo está conectado a un ventilador, el aire no pasa a través de las fosas nasales, que humedecen y calientan el aire” (p. 331), para ello se incorporan sistemas de humidificación.

Este artefacto es aplicado por medio de resucitador-manual que físicamente es una bolsa-autoinflable, para facilitar la ventilación con presión positiva para pacientes que no respiran o que no lo hacen adecuadamente. La manufactura es un proceso que alcanza dos vías de tratamiento: manual o a máquina (automático). Para el manejo de este ventilador a nivel de Ingeniería Electrónica, es relevante incorporar algunos temas de digitalización. En este caso los estudiantes trabajaron bajo la plataforma de la tarjeta arduino ATmega. Esta tarjeta microcontroladora según Moreno (2018) “es utilizada para realizar la traducción del protocolo USB a un protocolo serie más sencillo y entendible por la placa, y viceversa”. (p. 46).

Ilustración 1. Tarjeta Arduino con Microcontrolador ATMEGA



Fuente: <https://startingelectronics.org/>

Incorporar un código a este dispositivo hará un movimiento mecánico repetitivo, lo cual es importante con su objetivo de la inhalación y exhalación. Para este punto es muy importante la utilización de los sensores; que son elementos electrónicos con la funcionalidad de identificar la diferencia de una magnitud física como temperatura, iluminación, movimiento y presión; así como modificar la magnitud de ésta, en una señal eléctrica ya sea

analógica o digital. Aunado con lo que indica Sánchez (2018): “La señal que proporcionan se activa cuando se supera cierto umbral” (p.41); esto dependerá claramente de los datos del fabricante, y que se requiera controlar.

Muchos países se han visto afectados por una nueva pandemia que surgió en el continente asiático (COVID-19), este virus ha llegado a tener un gran impacto social y económico al punto de llegar a colapsar hospitales, ya que ataca mayormente el sistema respiratorio de las personas afectadas. Durante la emergencia se ha tenido que utilizar resucitadores manuales y resucitadores mecánicos para poder solventar esta crisis, es decir, cuando se necesita asegurar una ventilación normal a un paciente o cuando éste se encuentre imposibilitado de mantener su respiración por sí solo.

Los resucitadores manuales no son del todo prácticos, ya que, el funcionamiento de este se vería limitado al desempeñar el equipo, por el esfuerzo físico que se ejecuta a la hora de accionar el ventilador manual, con el transcurso del tiempo la fuerza aplicada se va perdiendo y presión y cantidad de aire que se aplican al paciente no son del todo seguro, provocando riesgo de alteración en el sistema respiratorio en lugar de obtener una eficiente de recuperación en la persona.

Por otra parte, se encuentran los resucitadores mecánicos, estos representan en gran parte el sistema respiratorio mismo, el cual se compone de un elemento resistivo (vías aéreas) y un elemento elástico (tejido pulmonar y pared torácica). Este tipo de respirador artificial es caracterizado para simular el funcionamiento de los pulmones, este tipo de ventilación está compuesto por una bomba ambu y esta va conectada a una mascarilla que es la que se coloca en el paciente, entre la bomba y la mascarilla va conectado una válvula de presión la misma que controla el paso del aire hacia la mascarilla. El aire exhalado es desviado por una ranura de escape que en general se ubica a un lado de la mascarilla, la mayoría de los resucitadores proveen una ventilación no invasiva y pueden trabajar sin necesidad de adicionar oxígeno suplementario. Algunos de estos equipos contienen una pequeña bolsa adicional en la parte posterior, la cual se utiliza de reserva cuando el resucitador es conectado a un tanque de oxígeno.

Metodología

El marco metodológico es el componente principal de la investigación, se debe tomar en cuenta que la informa-

ción prevista se procesa para que puedan ser estudiados por personas involucradas con la temática y elevar así la comprensión.

El personal docente y estudiantil crean un producto tecnológico con una finalidad social de beneficio en el área de la salud.

A. Análisis de Requerimientos

Se tomaron en cuenta muchos de los estándares de equipos existentes en el mercado, para evitar poner en riesgo la salud humana. Se elaboró el modelo con una serie de requerimientos necesarios para enfrentar la crisis y así ayudar a los médicos según las necesidades de las personas afectadas.

Tabla 1. Estructura y funcionamiento del modelo

Estructura	Funcionamiento del modelo
<ul style="list-style-type: none"> • Solida • Liviana • Portátil • Materiales no corrosivos • Diseño accesible al fabricar 	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo autónomo a partir de su activación. • Medición de volumen • Medición de Presión • Medición de Frecuencia ciclos/minutos. • Regular el flujo de entrada de aire

Fuente: Elaboración Propia

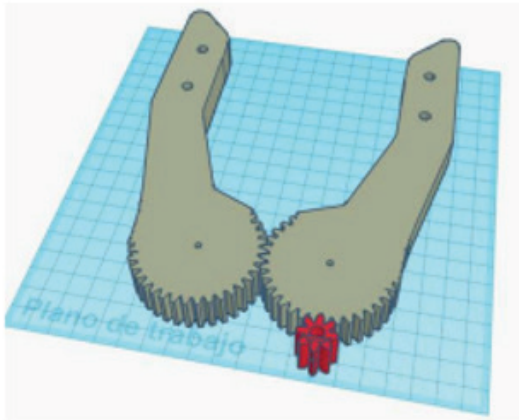
B. Descripción detallada de la solución

El equipo se compone de un conjunto de prensas y engranajes fabricados por una impresora 3D, además de algunos componentes electrónicos, las prensas son controladas por un motor tipo DC con caja reductora. La funcionalidad del modelo corresponde a que mediante la acción del motor este accionará las prensas en movimientos de cerrado y abierto, que a su vez presionará la bomba ambu continuamente para así poder suministrar el oxígeno necesario al paciente.

Primeramente, se realiza el diseño de la prensa en un programa de modelado 3D, en un extremo tiene la forma para que pueda sujetar la bomba ambu y en el otro tiene la forma de un engranaje, de modo que estas puedan funcionar como unas “tenazas”, para ello se requieren de dos piezas para formar la prensa, estas dos realizarán el movimiento de abrir y cerrar, debido a la forma de adaptación del engranaje en su base. Para poder ejecutar los movimientos se opta por colocar un motor DC con caja

reductora, de modo que este pueda tener el torque suficiente para presionar las pinzas con la bomba ambu en el eje de la caja reductora se coloca un engranaje pequeño que a su vez calce con el de la prensa, para que al girar este engranaje de igual manera se puede accionar el cerrado y abierto con ayuda del motor.

Ilustración 2. Prensas y engranaje.



Fuente: Elaboración Propia..

Para sujetar la prensa se opta por poner dos placas de aluminio de modo que se pueda instalar el motor junto con los engranajes y la prensa, los ejes que se incorporan en las prensas son unos tornillos con sus respectivas arandelas para evitar la fricción con la placa, quedando de la siguiente manera.

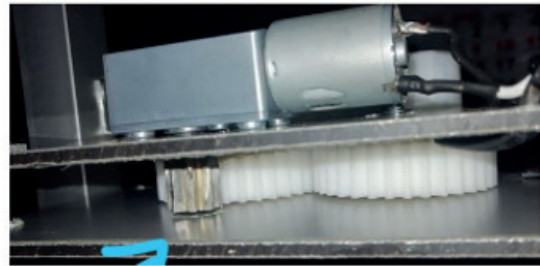
Ilustración 3. Bases de las prensas.



Fuente: Elaboración Propia..

Una vez colocadas las placas se hace un agujero donde entrará el eje de la caja reductora del motor de accionamiento.

Ilustración 4. Caja reductora



Fuente: Elaboración Propia..

Posteriormente, se diseñan otras piezas que van acopladas a la prensa para lograr tener mayor área de sujeción y así conseguir abarcar la mayor parte del volumen de la bomba ambu, estas piezas van colocadas en los extremos de la prensa, además se crea una base tipo rack, para poder dar estabilidad al modelo y que pueda ser puesto sobre una superficie plana, estos racks posteriormente son cambiados por unos perfiles de aluminio para evitar corrosión y que sean más livianos.

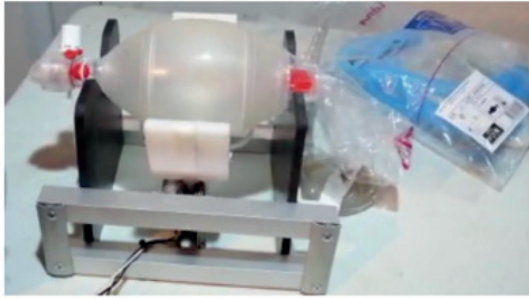
Ilustración 5. Apertura y cierre de pinzas.



Fuente: Elaboración Propia..

Finalmente, se crean unos soportes que van sujetos a los Racks de la base, estos se encargan de sostener la bomba ambu, estos elementos son fabricados por una lámina de policarbonato de un espesor de 8 mm, lo cual es apto para que el equipo sea fácil de limpiar.

Ilustración 6. Soporte Bomba en Policarbonato.



Fuente: Elaboración Propia..

Con su funcionamiento, el respirador enciende con el ventilador apagado dando una señal con un led rojo encendido, el diseño cuenta con tres potenciómetros además de un botón de paro y una pantalla LCD también unos leds que irán indicando el funcionamiento del modelo, representando unos de los potenciómetros controla cuánto se abrirá y cerrará la bomba ambu, el potenciómetro del centro controla el I: E este controla la escala que irá de 1:1 a 1:4, dependiendo en la posición que esté así durará en abrir o cerrar, el último potenciómetro controlara la velocidad que sea necesaria para accionar la bomba ambu. Una vez accionado el botón de paro la bomba vuelve a la posición inicial y alerta con el led además despliega un mensaje en la pantalla LCD.

Ilustración 7. Proyecto en funcionamiento.



Fuente: Elaboración Propia.

C. Costos del proyecto

Este modelo cuenta con un esquema didáctico que puede ser profesional, sin embargo, es necesario cotizar el precio de los elementos empleados para realizar la estructura. Entre ellos:

Tabla 2. Costos modelo.

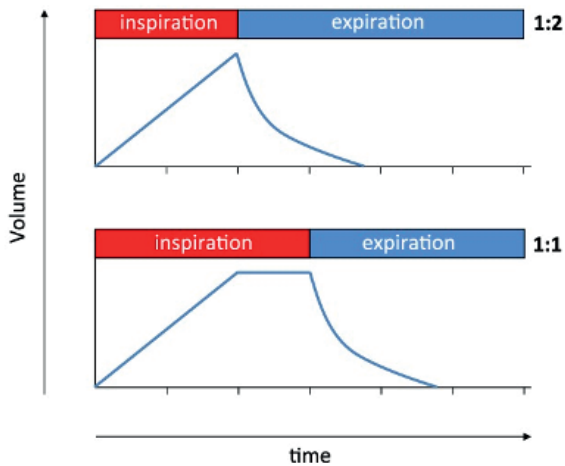
Parte	Cantidad	Costo \$ (USD)
Freescale semiconductor pressure sensor 500Kpa	1	21.59
M3 Aluminio Extrusion	8	10
20x4 LCD	1	12.95
Led kit (300 leds)	1	8.95
Active buzzer pc mount	2	1.9
Microswitch 3 pin	2	5.96
Tubo liso 1x1	2	11
Aluminio 20x20mm	1	3.08
Bridge motor driver	1	7.5
40RPM power fuel torque (Pruebas)	2	37.9
Arduino uno	1	11.95
Resucitador Ambu	1	35.09
Tubo Corrugado	1	1.92
Filamento	1	7.99
Fuente DC	1	-
Total		\$178

Fuente: Elaboración Propia..

Resultados y Análisis

- Cuando se inició con el desarrollo del modelo se conocían los parámetros presentados durante las pruebas que se iban a realizar, entre ellos:
- **Volumen Tidal (V_T):** Volumen total de aire que se suministra al paciente.
- **BPM:** respiraciones por minuto, también llamado frecuencia respiratoria (RR). Típicamente varía entre 8-40 BPM.
- **Relación I / E (1: IE):** Relación entre la duración de la inhalación y la duración de la exhalación. Típicamente varía entre 1: 1 a 1: 3, con un máximo de 1: 4 actualmente observado en pacientes con COVID-19.

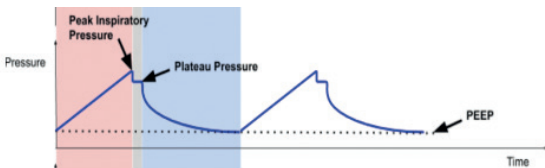
Ilustración 8. Relación Inhalar-Exhalar.



Fuente: <https://www.redalyc.org/journal/5763/576364367021/html/>

- P_{max} : Presión máxima permitida (establecida en 40 cmH20).
- **PIP-PEAK:** Presión inspiratoria máxima (PIP) es la presión máxima durante la inhalación. Se considera que 40 cmH20 es el límite superior de presión para la seguridad del paciente.
- P_{plat} : Presión meseta de la inhalación. Un número de diagnóstico importante para los médicos.
- **PEEP:** la PEEP (presión positiva al final de la espiración) es una presión residual en el sistema después de la exhalación. Se controla manualmente a través de una válvula PEEP en la bolsa Ambú.

Ilustración 9. Dinámica de respiración.



Fuente: Elaboración Propia.

Tomando en cuenta las siguientes variables:

Tabla 3. Variables.

Variables	Fórmulas
Periodo	$T = 60 / BPM$
Tiempo inspiración	$T_{in} = T / (1 + IE)$
Tiempo expiración	$T_{ex} = T - T_{in}$
Velocidad inspiración	$V_{in} = V_T / T_{in}$
Cálculo PWM Inhalación	$PWM_{in} = ((VOLUMEN / T_{in}) * (PWM/s)) / (Distancia-bits/s)$

Fuente: <https://www.redalyc.org/journal/5763/576364367021/html/>

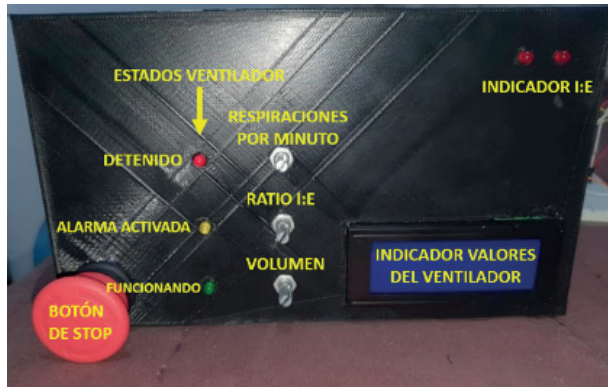
Se implementó un circuito en la protoboard con todos los componentes necesarios para el desarrollo del modelo, los cuales se obtuvieron en época donde se empezaban a generar los cierres de mercado. El modelo presentó una serie de problemas, lo que más afectó su diseño fue en el eje debido a las cargas y momentos aplicados por el motor, ya que, es la parte que da la fuerza para accionar la bomba ambu de un diámetro de menor a mayor magnitud.

Se logró controlar el volumen Tidal y I: E de manera correcta, por otra parte, se presentó una serie de dificultades a la hora de controlar el PWM Pulse Width Modulation (Modulación por ancho de pulso), ya que este era de 20PWM y el que se necesitaba era de 100PWM Pulse Width Modulation (Modulación por ancho de pulso), por lo que se optó dejarlo standard a 255 de PWM para su funcionamiento y poder concluir el proyecto. Con la elaboración del modelo se verificó que se necesita que tenga diferentes velocidades a la hora de estar funcionando según el requerimiento del paciente ya que este es para que el ventilador artificial cumpla su objetivo.

Este modelo se elaboró de modo que pueda presentar facilidad a la hora de sustituir la bomba ambu, ya que, para su fin solo se podría usar una sola vez. Como parte del desarrollo de un ventilador mecánico, es importante mencionar que para que este pueda ser utilizado se debe contar con indicadores que muestren sus respectivas características asociadas a la respiración, por lo que es necesaria la implementación de una pantalla que desplegará información referente al funcionamiento del ventilador mecánico.

Para desplegar la información referente al funcionamiento del ventilador mecánico se utilizó una pantalla LCD de 20x4, el cual también contaba de un módulo I2C incluido, como protocolo de comunicación, así mismo para utilizar solo 2 pines en el microcontrolador.

Ilustración 10. Partes modelo.



Fuente: Elaboración Propia.

Por lo tanto, la pantalla va a desplegar dos secciones, un set que mostrará la respiración por minuto, volumen tidal y radio de inspiración y expiración, mientras que en la sección mostrará magnitudes relacionadas a la presión, por ejemplo, peak, el cual va a ser la máxima respiración que va a alcanzar al final de la espiración. Por ende, la interfaz de la pantalla se realizó a partir de las librerías de Arduino, ya que permite un manejo más fácil de la pantalla de LCD, así mismo de otras funciones, el cual facilitará implementar un refrescamiento de la pantalla cada vez que una magnitud de algunas de las dos secciones cambie.

Las grandes limitaciones que se presentaron en este proyecto fueron el espacio mecánico que se tenía para trabajar, además el tiempo establecido que se tenía para la elaboración del proyecto era muy limitado. Se tuvieron que usar materiales fáciles de trabajar o fabricar, además de requerir más tiempo para dar con la finalidad del proyecto. Una de las grandes dificultades que se presentó fue la quema del motor (40RPM power fuel torque), que era controlado por medio de un 20PWM, este necesitaba 100PWM para que arrancara y dicho controlador I298n no soporta más de 2A cuando está con la carga (bomba ambu) y eso llevaba a quemar el motor.

Como solución se sugirió conseguir un motor con mejores características, que soporte más potencia, así también

un nuevo controlador de 100PWM de arranque, con eso trabajaría la bomba ambu de mejor forma. En las primeras pruebas realizadas con la LCD se tuvo como principal dificultad la falta de actualización en la pantalla de los números y caracteres que cambiaban de valor según lo seleccionado en la caja de control. Otra de las dificultades fue que en los casos donde se presionaba el botón del paro del sistema y además se simulaba la activación de una alarma en el ventilador, el cambio de mensaje de advertencia se ejecutaba en el display, pero una vez que se volvía a la pantalla principal, las letras y caracteres de esta pantalla se traslapaban o combinaban con los mensajes desplegados.

Por ende, entre las soluciones encontradas para estos problemas fueron las siguientes: Primero, se protegió la pantalla LCD a través del uso de un búfer simple para obtener un comportamiento más predecible, por medio de matrices individuales con variables char para cada línea. Se usó una función separada para `lcd.print()` en cada línea, y luego se llamó a la subrutina para estar actualizando la pantalla. Luego, se actualizó toda la pantalla cada vez que cambiaba algo, donde la alternativa nunca es limpiar la pantalla. Se siguió reescribiendo independientemente de si algo cambia, donde en lugar de tratar de cambiar un carácter a la vez, se imprima una línea completa. Por último, se usó la función `sprintf()` para borrar un carácter mediante la ejecución del método de relleno, ya que por medio de estos se tiene un comportamiento determinista en el cual las operaciones como el dibujo de pantalla siempre toman la misma cantidad de tiempo. Y otra razón es por el parpadeo, donde el acto de limpiar la pantalla y luego volver a imprimirla podría dar lugar a caracteres parpadeantes, lo cual con el método de relleno es imperceptible para el ojo humano.

A. Lista de posibles mejoras

- Buscar un motor que sea capaz de poder accionar la bomba de forma óptima sin que pueda presentar daños o complicaciones a la hora de hacerlo y así controlar la presión del sensor a la hora de accionar la bomba por medio de la inhalación y exhalación del paciente.
- El ventilador se elaboró con materiales de bajo costo, que con un tiempo más extenso y una investigación más elaborada se podría conseguir materiales más baratos y llegar a hacer un diseño más accesible a la hora de producirlo en cantidades. Unas de las posibles mejoras es conseguir una fuente de menor tamaño en diseño, ya que la que se usó es sumamente

grande y pesada, conseguir una de menor tamaño el diseño se vería estéticamente mejor y quedaría más liviano.

- Mayor cantidad de pantallas secundarias con respecto a la pantalla principal, ya que en el diseño actual además de la pantalla principal, se tiene otra para el indicador del mensaje de ventilador detenido y otra para alguna alarma o problema que se presente en el sistema, por lo tanto, en una mejora futura, se podría incluir más pantallas con más opciones de configuración o mensajes que indiquen distintos fallos en el sistema, lo cual no ocurre actualmente ya que habría que disponer de más sensores en el ventilador mecánico.
- Un menú de opciones en el display LCD, donde en lugar de tener una única pantalla que se muestran todas las variables del sistema, se puedan acceder y modificar por medio de un menú de selección. Sin embargo, en el diseño actual no se puede tener un menú ya que se debería implementar pulsadores en la caja de control o en su caso, comprar un encóder rotativo para desplazarse por las distintas opciones del menú, lo cual es difícil de implementar con los potenciómetros convencionales.
- Se va a establecer un proceso de medición que permita revisar las diferencias entre los ingresos respecto a los egresos del Centro de Acopio que permita medir el grado de déficit, además conocer bien el proceso productivo que se lleva a cabo.

B. Código de Programa

Se habilita esta fórmula si y sólo si con los valores anteriores el motor se encuentra funcionando en perfecto estado, una vez estando así, se habilita la fórmula y se hace el debugging necesario para que funcione, en este caso se necesita un motor de alta potencia y torque dado que necesita mover la garra incluso a un pwm de 20bits/s.

```
if(TV == 20){
    delay(450); //normal 100
    analogWrite (EN, 0);
}
else if(TV == 40){
    delay(500); //normal 150
    analogWrite (EN, 0);
}
else if(TV == 60)
{
```

```
    delay(550); //normal 200
    analogWrite (EN, 0);
}
else if(TV == 80)
{
    delay(600); //normal 250
    analogWrite (EN, 0);
}
else if(TV == 100)
{
    delay(650); //normal 300
    analogWrite (EN, 0);
}
else if(TV == 120)
{
    delay(700); //normal 350
    analogWrite (EN, 0); }
```

```
int PWM_inhala, PWM_exhala;
```

```
bool giro_cierre = false;
```

```
bool giro_abre = false;
```

```
29 // PWM_inhala = (((Valor_TV / T_inhala) * 120) / 140); //
NOTA: El #120# y el #500# son valores por confirmar, por eso
estÃ¡n entre "##".
```

```
// PWM_exhala = (((Valor_TV / T_exhala) * 120) / 140); //
NOTA: El #120# y el #500# son valores por confirmar, por eso
estÃ¡n entre "##".
```

```
// PWM_inhala= Valor_TV / T_inhala;
```

```
// if(PWM_inhala <= 80){ // PWM_inhala = 100; // } // //
if(PWM_inhala <= 80){ // PWM_exhala = 100;
```

Conclusiones

- Elaborar este tipo de modelo a bajo costo, pero con alcances tecnológicos es una forma de mayor accesibilidad para la salud.
- Los componentes electrónicos son de alcance comercial lo cual facilita su construcción.
- El lenguaje utilizado va acorde a los actuadores mecánicos y eléctricos del modelo.

- Durante el proceso de la creación de la maqueta, se realizó un primer modelo con materiales de hierro donde se soldó el rack de sujeción, este estaba compuesto de un tubo cuadrado de hierro galvanizado, sin embargo, se observó que este material es muy pesado y podría oxidarse al estar expuesto algún líquido, de modo que se cambió el material por un perfil de aluminio.
- Para crear los engranajes de la prensa se realizaron varios tipos para ver cuál era el más conveniente y que se adaptara a la fuerza que se requería, así también para que pudiera llegar a la velocidad de respiraciones por minuto necesarias que son aproximadamente 40 BPM.
- Una de las principales dificultades fue el poder crear el engranaje que va sobre el eje del motor, ya que ese se realizó en una impresora 3D con material de plástico PLA, pero este material no es capaz de resistir la fuerza que ejercía el motor y se dañaban los engranajes. Por este motivo se optó por hacer un engranaje de hierro para poder solventar este problema mecánico.
- La utilización de la pantalla LCD 20x4 y del protocolo de comunicación I2C permite desplegar diversas magnitudes referentes a la respiración y a la presión, así mismo de la utilización de menos pines en el microcontrolador, ya que menciona pantalla también contaba con un módulo de I2C, el cual va a permitir la utilización de 2 pines.

Agradecimiento

A la Universidad Técnica Nacional por su respaldo ante nuestro trabajo académico, abrir sendas de conocimiento para aportar a la sociedad costarricense, fortalecer los vínculos con diversos sectores, además promover la ejecución de un modelo educativo sostenible para beneficio del cuerpo docente y estudiantil.

Referencias

- CRHOY. (2020, May 19). *UTN Crea ventilador respiratorio para ayudar a pacientes COVID-19* | Crhoy.com. CRHoy.com | Periodico Digital | Costa Rica Noticias 24/7. <https://www.crhoy.com/nacionales/utn-crea-ventilador-respiratorio-para-ayudar-a-pacientes-covid-19/>
- El País. (2020, May 19). *Estudiantes UTN elaboraron primer prototipo de ventilador respiratorio para pacientes COVID-19*. Diario Digital Nuestro País. <https://www.elpais.cr/2020/05/19/estudiantes-utn-elaboraron-primer-prototipo-de-ventilador-respiratorio-para-pacientes-covid-19/>
- García, J. M. (2018). Montaje de los cuadros de control y dispositivos eléctricos y electrónicos de los sistemas domóticos e inmóticos. ELEM0111. IC Editorial.
- Hernández, A. M. (sf). Cambios en la mecánica ventilatoria debido a variaciones de la PEEP Y la presión soporte: Estudio en sujetos sanos bajo ventilación mecánica no invasiva. Sistema de Información Científica Redalyc, Red de Revistas Científicas. Recuperado de <https://www.redalyc.org/journal/5763/576364367021/html/>
- Hernando, A., Guillamas, C., Gutiérrez, E., Sánchez-Cascado, G., Tordesillas, L., & Méndez, M. J. (2017). Técnicas básicas de enfermería. Novedad 2017. Editex.
- Muñoz, A. M. (2018). Arduino. Edición 2018 Curso práctico.
- Sánchez, M. (2017). Montaje de cuadros de control y dispositivos eléctricos y electrónicos de sistemas domótico. RA-MA Editorial.