

Evaluaciones matemáticas de los mecanismos para ventiladores artificiales emergentes

Mathematical Evaluations of Mechanisms for Emerging Artificial Fans

FLOR, Omar C. ¹
SUAREZ, Franyelit M. ²
TOAPANTA, Carlos F. ³
ROSALES, Luis D. ⁴
ALVAREZ, Gabriela A. ⁵

Resumen

Este trabajo presenta una revisión físico-matemática de los mecanismos desarrollados como propulsores de gas (aire-oxígeno) en ventiladores mecánicos emergentes. Estos mecanismos, son empleados para presionar bolsas insufladoras, que requieren motores de un torque específico para su funcionamiento. Se explican las expresiones para el dimensionamiento del motor requerido, según la configuración del mecanismo y en función de las fuerzas requeridas y necesarias para la presión de operación. Los resultados mostraron que la mayoría de disposiciones emplea un brazo de palanca reducido procurando aprovechar al máximo el torque del motor.

Palabras clave: ventilador artificial, bolsa insufladora, mecanismo, modo mandatorio.

Abstract

This work presents a physical-mathematical review of the mechanisms developed as gas propellants (air-oxygen) in emerging artificial fans. These mechanisms are used to press insufflator bags, which require motors of a specific torque for their operation. Expressions for the dimensioning of the required motor are explained, according to the configuration of the mechanism and depending on the forces required and necessary for the operating pressure. Results showed that most layouts employ a reduced lever arm trying to maximize engine torque.

Key words: artificial fan, insuffering bag, mechanism, mandatory mode.

1. Introducción

Frente a una emergencia sanitaria como la ocasionada por la expansión del virus COVID19, los sistemas de salud se enfrentan a riesgos de falta de ventiladores mecánicos que permitan asistir a pacientes graves en sus unidades

¹ Docente Universitario. Ingeniería Industrial. Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Universidad de las Américas. omar.flor@udla.edu.ec

² Docente Universitario. Ingeniería Industrial. Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Universidad de las Américas. franyelit.suarez@udla.edu.ec

³ Ingeniero de Calidad. Danielcom Equipment Supply S.A. cartoap@gmail.com

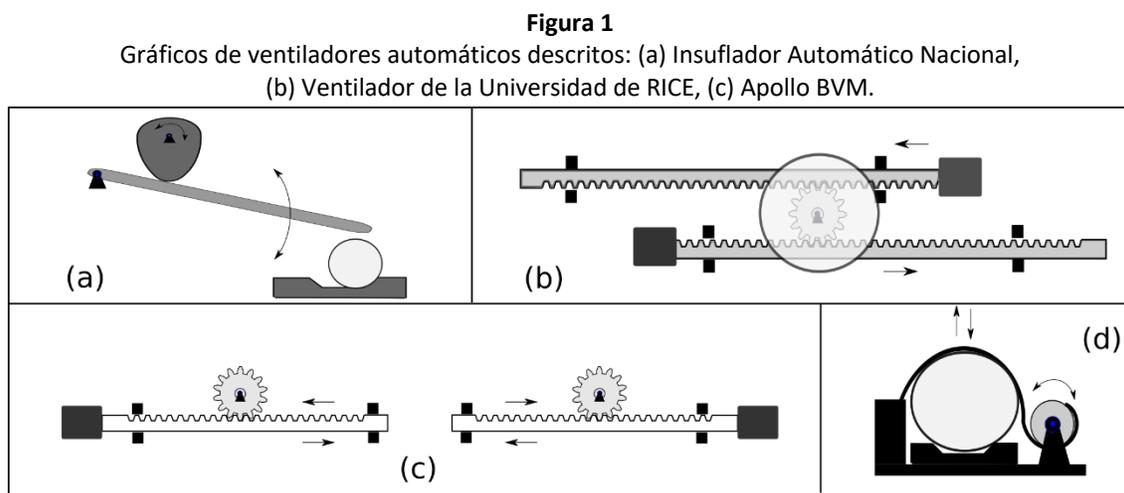
⁴ Vicerrector Institucional. Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre, Puerto Ordaz. Luis.rosales2@gmail.com

⁵ Estudiante. Ingeniería Industrial. Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Universidad de las Américas. gabriela.alvarez.velasco@udla.edu.ec

de terapia intensiva (News, 2020). El incremento exponencial en el crecimiento de contagios presenta una demanda considerable que muchos países del mundo han tenido que padecer. Se torna por esto, indispensable el desarrollo de dispositivos de ventilación artificial de carácter emergente y adaptados a los recursos regionales, debido al impedimento y complicaciones que puedan presentarse en la importación de componentes (El Mundo, 2020).

1.1. Mecanismos impulsores de bolsas insufladoras

Existe gran variedad de respiradores creados para situaciones emergentes, cuyas funciones soportan y apoyan la atención médica hospitalaria. Estos respiradores han sido diseñados por diferentes grupos de investigadores y profesionales técnicos alrededor de todo el mundo. Se han considerado en este estudio solamente, modelos de ventiladores de carácter mecánico que utilizan bolsa insufladora, para ventilación de tipo mandatorio (EFE, 2020). Todos los modelos presentados y descritos en este apartado, se muestran de manera gráfica en las Figura 1, 2 y 3.



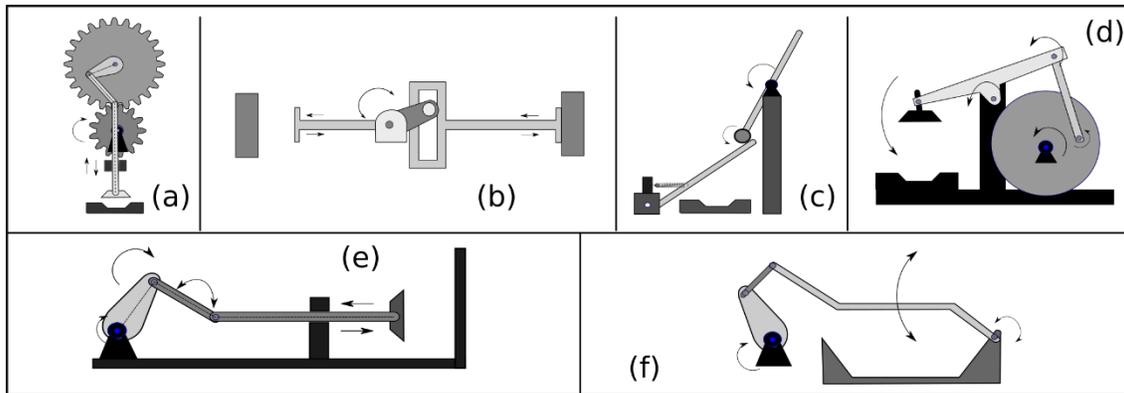
Fuente: Elaboración propia

En el sistema de ventilación mecánica creado en la Universidad de Buenos Aires, Argentina, y denominado Insuflador Automático Nacional (IAN) (VíaBariloche, 2020), el motor proporciona movimiento rotacional de una pieza excéntrica (leva) y esta a su vez, produce la oscilación de la palanca que ejerce presión en la bolsa de aire [Figura 1 (a)]. Los prototipos de estos mecanismos son fabricados empleando fibrosil o madera MDF por sus prestaciones en costo y conformado con tecnología láser (Río Negro, 2020).

La Universidad de RICE en Houston-Estados Unidos, presentó un ventilador mecánico artificial constituido por un piñón que impulsa dos cremalleras como se ilustra en la Figura 1 (b). Este dispositivo posee dos brazos verticales que por la acción de un motor originan la rotación del piñón y este a su vez, el movimiento de las dos cremalleras en sentidos contrarios, empleados para la compresión de la bolsa de aire (González, 2020). Otro modelo presentado por la misma universidad, es el Apollo BVM (bolsa válvula mascarilla) ilustrado en la Figura 1 (c), el mismo que emplea dos motores para impulsar cremalleras que posibiliten presionar la bolsa de aire (Rice University, s.f.).

El proyecto Simple open source mechanical ventilator, desarrollado en la Universidad Johns Hopkins en Baltimore, Estados Unidos, (Figura 1 (d)) emplea una correa que, al enrollarse en la polea del motor, envuelve y comprime el globo insuflador (EngNews, 2020).

Figura 2
Gráficos de ventiladores automáticos descritos [2].



Fuente: Elaboración propia

El respirador automatizado de máscara de válvula de bolsa (BVM) ingeniado en la Universidad de Minnesota y continuada por ingenieros de la empresa Teknic Inc. (Figura 2 (a)), emplea un mecanismo conformado por dos piñones, uno pequeño acoplado a un motor y otro de mayor tamaño, acoplado a un brazo de palanca que cumple la función de impulsor que mediante un acoplador desliza un seguidor lineal que presiona la bolsa insufladora (University of Minnesota, 2020).

La facultad de Vanderbilt University en Estados Unidos, generó el Open source ventilator design (Figura 2 (b)), el cual posee la configuración del mecanismo de yugo escocés. Se acciona por un brazo que se encuentra acoplado a un motor y este, mediante un pasador, empuja la barra para ejercer presión en la bolsa insufladora (Vanderbilt University, 2020).

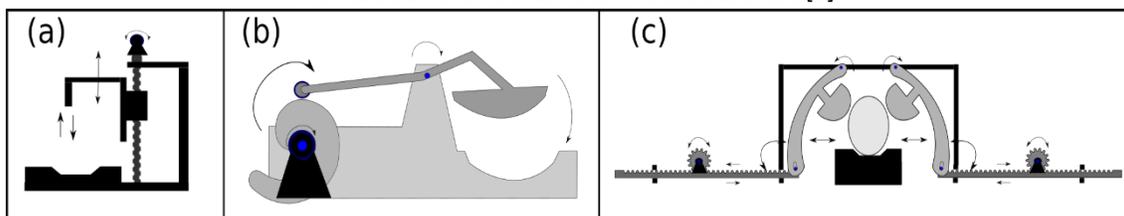
El ventilador mecánico Macgyvilator Mk2 (Figura 2 (c)), posee un motor que acciona una barra con seguidor a un extremo, la cual interactúa con otra barra rígida que actúa como pivote para comprimir y descomprimir el insuflador (Fast Grants, 2020).

Ingenieros y técnicos de Catamarca-Argentina elaboraron un ventilador con mecanismo biela-manivela, que usa un motor de limpiaparabrisas para su operación (Figura 2 (d)). Posee una estructura mixta de acero y grilón (Vida Positiva, 2020).

El respirador Charrúa de origen uruguayo (Figura 2 (e)), constituido por un motor que acciona un mecanismo de manivela-corredera, permite la compresión y descompresión de la bolsa de aire (Respirador Charrúa, s.f.).

En Guatemala, la Universidad de San Carlos, desarrolló un ventilador pulmonar (Figura 2 (f)), basado en un mecanismo de cuatro barras, impulsado por un motor y en cuyo eslabón de salida se comprime al insuflador (Gramajo, 2020).

Figura 3
Gráficos de ventiladores automáticos descritos [3].



Fuente: Elaboración propia.

En Cali-Colombia, un grupo de técnicos propusieron un ventilador artificial constituido por un tornillo sin fin unido a un motor (Figura 3 (a)) que, a través de su movimiento de elevación y descenso, genera presión en el insuflador (Noticias Caracol, 2020). Una disposición similar presenta el Laboratorio de Nanotecnología de la UFG de El Salvador, cuyo desarrollo permite automatizar un resucitador manual, empleado para ventilar pacientes. El dispositivo emula de forma automática la presión en la bolsa de aire suministrando la cantidad que el paciente necesita. Una placa arduino controla un motor a pasos acoplado a un tornillo sin fin, que mueve un soporte curvo que emula la mano (EFE, 2020).

En Ecuador, la Universidad San Francisco de Quito, presentó un mecanismo de leva excéntrica (Figura 3 (b)), accionado a partir de un servomotor, seguido de una palanca que transmite el movimiento además de un muelle que permite retornar a la posición de inicio, lo que comprime y descomprime la bolsa insufladora (El Universo, 2020).

De igual manera, en Ecuador, la Facultad de Ingenierías y Ciencias Aplicadas de la Universidad de las Américas (UDLA) desarrolló un mecanismo de cierre con doble palanca que incrementa la fuerza necesaria para presionar la bolsa resucitadora (Figura 3 (c)). Cada brazo se impulsa por un seguidor fijado a una cremallera, que se mueve de manera lineal a partir del movimiento de un engranaje acoplado a un motor de pasos, logrando el movimiento adecuado para conseguir presión progresiva en la bolsa. Su diseño es sencillo, lo que permite que las piezas se manufacturen con tecnología láser (El Universo, 2020).

En este trabajo se revisan los mecanismos de distintos ventiladores mecánicos. A través del torque de cada respirador se realiza un análisis y se obtienen las ventajas de unos mecanismos sobre otros.

2. Metodología

Como proceso importante en el diseño, el dimensionamiento del motor, es un aspecto fundamental dado que este debe permitir el funcionamiento continuo y garantizar las condiciones de movilidad y torque necesario para proveer de aire suficiente al paciente (Wilmott, 2019).

Para este estudio, se realizaron análisis de carácter mecánico que incluyen diagramas de cuerpo libre, análisis estático, se determinaron fuerzas no conservativas como el rozamiento y consideraciones geométricas (Richard, Avroy, & Walsh, 2019).

Se analizó la transmisión de múltiples configuraciones de mecanismos en lo que respecta a la transmisión de movimiento con engranajes, levas, palancas, tornillos sin fin y mecanismos de biela manivela. Además, se consideró el efecto del uso de juntas cinemáticas como pasadores, guías deslizantes, seguidores e inclusive fuerza de tracción en cuerdas (Benitez, Pascual, Montero, Jurado, & Jiménez, 2018).

Finalmente, se evaluaron los torques en cada uno de los mecanismos estudiados en función de los parámetros que los conforman, y relacionándolos entre sí.

3. Resultados

A través del análisis de la cinemática de estos mecanismos, se observó que existen 4 grupos que poseen características comunes. Un primer grupo de disposiciones que emplean engranajes como método de transmisión de movimiento, un segundo grupo que emplea mecanismos planos de tipo manivela-corredera; un tercero de modelos que emplean levas, y por último algunos que ofrecen ventaja con el uso de palancas y cuerda inextensible.

Se observó que la mayoría de disposiciones emplea un brazo de palanca reducido procurando aprovechar al máximo el torque del motor. En los mecanismos que emplean palancas, no se aprovechan las ventajas de su

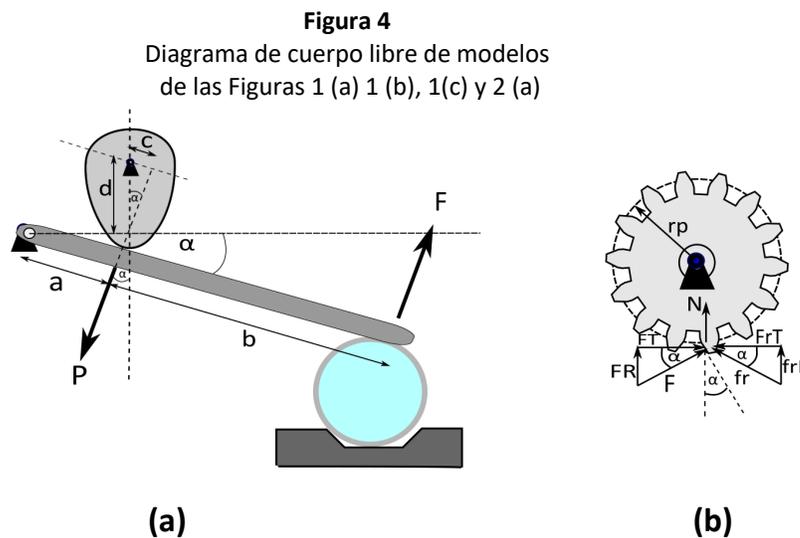
disposición para optimizar la energía proporcionada en la compresión, excepto en el dispositivo generado en la Universidad de las Américas.

Mecanismos que transmiten su movimiento a través de engranajes rectos y poseen máximo dos servomotores para su accionamiento. Predomina el uso de eslabones rectos que facilitan su fabricación dado el carácter emergente de estos dispositivos. Del estudio del caso estático de estos mecanismos en su posición más crítica y que exige mayor torque, se determinaron las expresiones que se muestran a continuación.

Para el Insuflador Automático Nacional (IAN) ilustrado en la Figura 1 (a), se tiene la relación del torque en función de la fuerza, considerando la geometría de la leva y las dimensiones de la palanca, se presentan en la ecuación 1. La disposición de las reacciones se presenta en la Figura 4 (a).

$$T = \frac{F \cdot d \cdot \text{Sen} \alpha \cdot (a+b)}{a} \tag{1}$$

en donde, T es el torque de la palanca, F es la fuerza de reacción del ambu hacia la palanca, d es la distancia del eje de la leva hacia el extremo de contacto con la palanca, α es el ángulo formado entre la horizontal y la palanca en su punto más crítico, a es el brazo de palanca de la fuerza P, ejercida por la leva hacia la palanca, b es el brazo de palanca de la fuerza F.



Fuente: Elaboración propia

Para los mecanismos generados por la Universidad de Rice de la Figura 1 (b) y Figura 1 (c), se considera el torque producido por la fuerza de roce y ángulo de presión del diente del engranaje, así como las dimensiones del piñón hacia la cremallera, y se presenta en la ecuación 2 y su esquema en la Figura 4 (b).

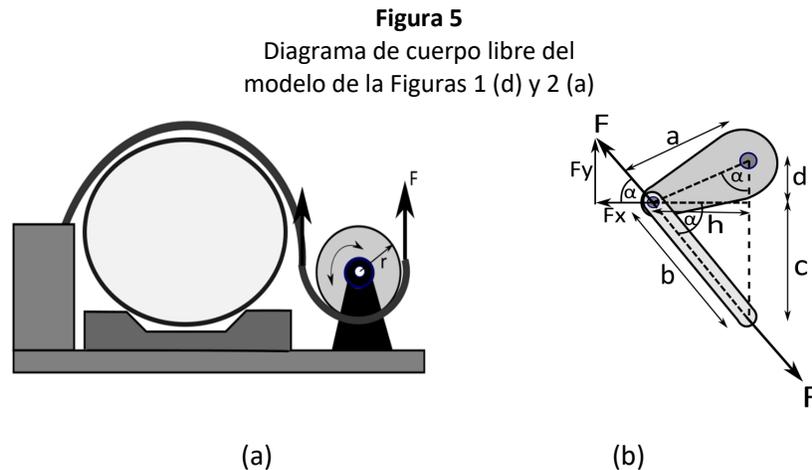
$$T = F \cdot \text{Cos} \alpha \cdot (rp - 2\mu \cdot \text{Sen} \alpha) \tag{2}$$

en donde, T es el torque en el contacto de dientes del sistema piñón-cremallera, F es la fuerza en el contacto de dientes del sistema piñón-cremallera, α es el ángulo de contacto del sistema piñón-cremallera, rp es el radio primitivo del piñón, μ es el coeficiente de rozamiento entre el piñón-cremallera.

La expresión que define el torque en el mecanismo Simple open-source mechanical ventilator correspondiente a la Figura 1 (d), se presenta en la ecuación 3, en función de la fuerza ejercida por el servomotor y considera un sistema de polea simple y una cuerda inextensible. Sus variables se encuentran representadas en la Figura 5 (a).

$$T = F * r \tag{3}$$

en donde, **T** es el torque producido en el disco y la cuerda, **F** es la fuerza ejercida por la tensión de la cuerda, **r** es el radio del disco motriz.



Fuente: Elaboración propia

Para el Ventilador automatizado de máscara de bolsa de la Figura 2(a), se tiene la relación del torque en función de la fuerza, considerando una fuerza de roce en función del coeficiente de rozamiento y del ángulo de presión del mecanismo, así como las dimensiones del piñón conductor y de los eslabones rectos, tal y como se presenta en la ecuación 4, mostrando las disposiciones de las reacciones en las Figuras 4 (b) y 5 (b).

$$T_{total} = F * (Cos \alpha * (rp - 2\mu * Sen\alpha) + \frac{h}{b} * (c + d)) \tag{4}$$

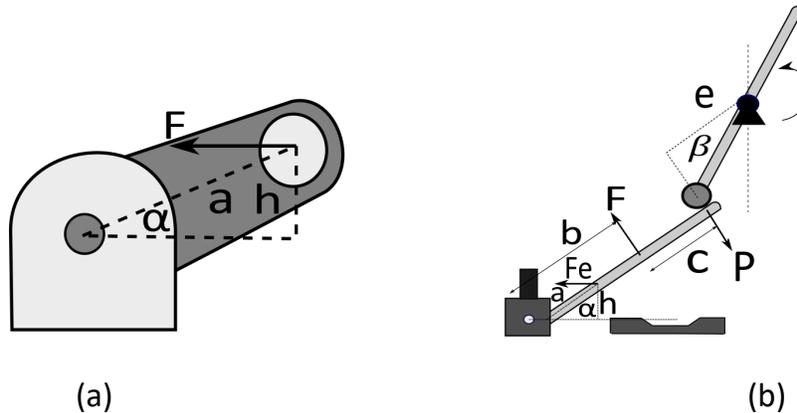
en donde, **Ttotal** es el torque total producido en el eje de la biela, **F** es la fuerza ejercida por la biela al eslabón, **Cos α** función trigonométrica aplicada al ángulo formado entre la vertical y la biela, **Senα** función trigonométrica aplicada al ángulo de presión del piñón, **rp** es el radio primitivo del piñón, **μ** es el coeficiente de rozamiento entre el piñón-piñón, **(h, b, c, d)** son parámetros de distancia de eslabones.

Para el mecanismo Open-source ventilator design de la Figura 2 (b), se tiene la relación del torque en función de la fuerza, considerando las dimensiones de la biela y del ángulo máximo conducido a lo largo de la corredera, tal y como se presenta en la ecuación 5. Los parámetros se encuentran representados en el diagrama de la Figura 6 (a).

$$T = F * a * Sen \alpha \tag{5}$$

en donde, **T** es el torque producido en el eje motor de la biela, **F** es la fuerza ejercida por la biela al seguidor, **a** es la dimensión longitudinal de la biela, **α** es el ángulo máximo conducido a lo largo de la corredera.

Figura 6
 Diagrama de cuerpo libre de modelos
 de las Figuras 2 (b) y 2 (c).



Fuente: Elaboración propia

Para el ventilador mecánico Macgyvilator Mk2 representado en la Figura 2 (c), se tiene la relación del torque en función de la fuerza, considerando las dimensiones de las palancas interactuantes y de la fuerza elástica que permite alargar o contraer el resorte como manera de restituir el sistema, se presentan en la ecuación 6. Las variables que definen el sistema se representan en la Figura 6 (b).

$$T = \frac{b \cdot \cos \beta \cdot [K \cdot (x - x_0) \cdot h + F \cdot b]}{(c + b)} \tag{6}$$

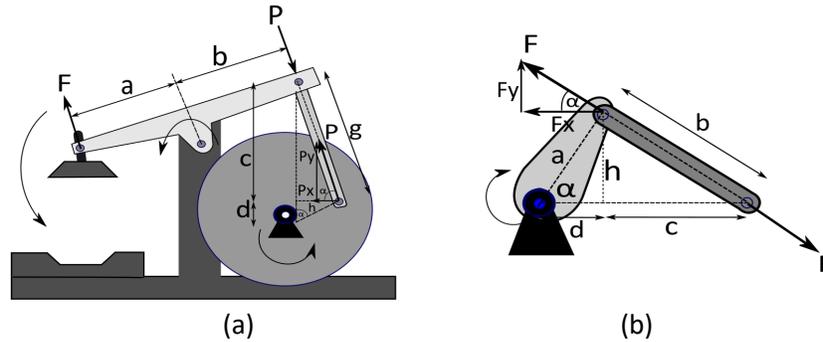
en donde, T es el torque ejercido sobre la palanca, F la es la fuerza de reacción del ambu hacia palanca, β es el ángulo formado entre la horizontal y la palanca en su punto más crítico, K es la constante del resorte, x_0 es la posición inicial del resorte, x es la posición final del resorte, h es el brazo de palanca ejercida por la fuerza elástica del resorte, b es el brazo de palanca de la fuerza “F”, $c + b$ es el brazo de palanca de la fuerza “P”.

La expresión que define el torque del ventilador Catamarca Figura 2 (d), se presenta en la ecuación 7, en función de la fuerza ejercida por el motor y considera las dimensiones de los eslabones rectos. Su esquema se presenta en la Figura 7 (a).

$$T_{biela} = \frac{F \cdot a \cdot h}{b \cdot g} \cdot (c + d) \tag{7}$$

en donde, T_{biela} es el torque de la biela producido por el disco motor, F es la fuerza de reacción del ambu hacia el mecanismo palanca, a es el brazo de palanca de la fuerza “F” respecto al pivote de la palanca, b es el brazo de palanca de la fuerza “P” respecto al pivote de la palanca, (c, d, g, h) son parámetros de distancias de los mecanismos.

Figura 7
Diagrama de cuerpo libre de modelos de las Figuras 2 (d), 2 (e) y 2 (f).



Fuente: Elaboración propia

Para el respirador Charrúa prototipo 3 y ventilador pulmonar USAQ, ilustrados en las Figuras 2 (e) y 2 (f) respectivamente, se tiene la relación del torque en función de la fuerza, considerando las dimensiones de los eslabones rectos del mecanismo biela y manivela, se presentan en la ecuación 8. Las variables se definen en la Figura 7 (b).

$$T_{biela} = \frac{F \cdot h}{b} * (c + d) \tag{8}$$

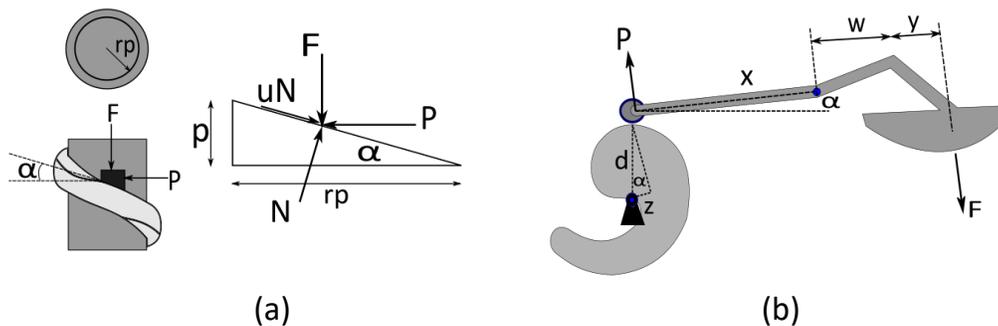
en donde, **T_{biela}** es el torque de la biela producido por el disco motor, **F** es la fuerza ejercida sobre el eslabón, **b** es la distancia longitudinal del eslabón, (**c**, **d**) son parámetros de distancias de los mecanismos.

Para el Respirador artificial-Colombia de la Figura 3 (a), se tiene la relación del torque en función de la fuerza, considerando una fuerza de roce en función del coeficiente de rozamiento y del ángulo de presión del mecanismo, así como las dimensiones del tornillo sinfín, tal y como se presenta en la ecuación 9, y los parámetros se encuentran identificados en el diagrama de cuerpo libre de la Figura 8 (a).

$$T = \frac{F \cdot rp \cdot (\mu \cdot \text{Cosa} + \text{Sena})}{\text{Cosa} - \mu \cdot \text{Sena}} \tag{9}$$

en donde, **T** es el torque del tornillo sinfín, **F** es la fuerza ejercido sobre el tornillo sinfín, **rp** es el radio primitivo del tornillo, **μ** es el coeficiente de rozamiento, **α** es el ángulo de presión del tornillo sinfín.

Figura 8
Diagrama de cuerpo libre de modelos de las Figuras 3 (a) y 3 (b).



Fuente: Elaboración propia.

Para el Respirador artificial-USFQ (Figura 3 (b)), se tiene la relación del torque en función de la fuerza, considerando la transmisión hacia un seguidor de rodillo y pivotando una palanca para cambiar el sentido de la fuerza y comprimir la bolsa insufladora, como se presenta en la ecuación 10. El esquema se encuentra representado en la Figura 8 (b).

$$T = \frac{F \cdot d \cdot \text{Sen } \alpha \cdot (w + y)}{x} \tag{10}$$

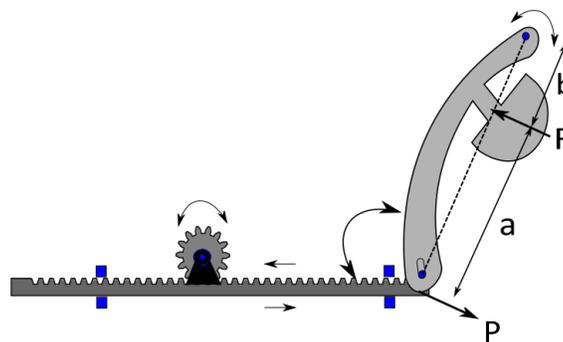
en donde, T es el torque de la palanca de 1er género, F es la fuerza de reacción del ambu hacia la palanca, d es la distancia del eje de la leva hacia el extremo de contacto con la palanca, α es el ángulo formado entre la horizontal y la palanca en su punto más crítico, x es el brazo de palanca de la fuerza "P", $(w + y)$ es el brazo de palanca de la fuerza "F".

El Ventilador artificial-UDLA (Figura 3 (c)), considera la transmisión de la fuerza en la cremallera en función del ángulo de presión del engranaje recto y considerando el rozamiento en el deslizamiento lineal (Figura 9). Se genera un movimiento circular mediante un seguidor y una palanca de segundo género que incrementa la fuerza aplicada (ecuación 11).

$$T = \frac{F \cdot b \cdot \text{Cosa} \cdot (rp - 2\mu \cdot \text{Sen} \alpha)}{(a + b)} \tag{11}$$

en donde, T es el torque entre la cremallera hacia la palanca, F es la fuerza de reacción del ambu hacia el mecanismo palanca, α es el ángulo de contacto del sistema piñón-cremallera, b brazo de palanca de la fuerza "F", rp es el radio primitivo del piñón, μ es el coeficiente de rozamiento entre el piñón-cremallera, $(a + b)$ es el brazo de palanca de la fuerza "P".

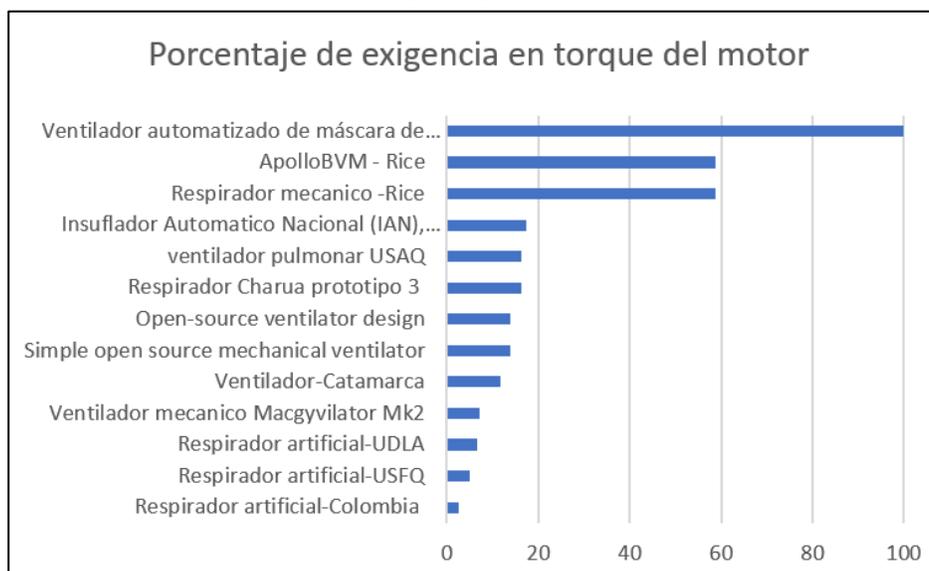
Figura 9
Diagrama de cuerpo libre del modelo de la Figuras 3 (c).



Fuente: Elaboración propia.

Usando las ecuaciones mostradas, y evaluándolas para una fuerza similar, se observa que el torque en los mecanismos, de mayor a menor magnitud se presentan en el gráfico 1.

Gráfico 1
Comparación de torque requerido en los dispositivos.



Fuente: Elaboración propia

4. Conclusiones

Se analizó la transmisión de múltiples configuraciones de mecanismos en lo que respecta a la transmisión de movimiento con engranajes, levas, palancas, tornillos sinfín y mecanismos de biela manivela en respiradores mecánicos. Además, se consideró el efecto del uso de juntas cinemáticas como pasadores, guías deslizantes, seguidores e inclusive fuerza de tracción en cuerdas.

La mayoría de las disposiciones de los ventiladores emergentes, emplea un brazo de palanca reducido, de tal forma de aprovechar al máximo el torque del motor. En los mecanismos que emplean palancas, no se aprovechan las ventajas de su disposición para optimizar la energía proporcionada en la compresión, excepto en el ventilador generado en la Universidad de las Américas.

El mecanismo desarrollado por la UDLA (Ventilador Artificial), presenta una ventaja mecánica en cuanto a la disposición de palanca. En segundo lugar, genera el torque mínimo para imprimir la fuerza requerida en el insuflador. Esto representa el 6.60% en referencia al mecanismo transmisión piñón - piñón / biela – manivela (Ventilador automatizado de máscara de válvula de bolsa (BVM)), siendo un mecanismo estable y con ciertas similitudes.

Los mecanismos en donde conforman piñones se tienen los más altos valores de torque calculados, estos son: el respirador mecánico y el mecanismo ApolloBVM en un 58.76% comparados con ventilador de máscara de bolsa con mayor torque de requerido.

Este trabajo sirve como referencia para el diseño e implementación de nuevos prototipos de respiradores, tomando en consideración la ventaja de su estructura mecánica, los materiales para su construcción y el torque necesario para insuflar las bolsas de aire.

Referencias bibliográficas

Benitez, A., Pascual, N., Montero, F., Jurado, B., & Jiménez, L. (2018). *Ventilación mecánica no invasiva*. Madrid: Elsevier.

- EFE. (2020, 04 22). *Respiradores frente al COVID-19: Diferentes tipos para cada situación*. Obtenido de <https://www.efesalud.com/respiradores-covid-19-tipos-funciones/>
- EFE. (2020, 03 27). *Universidad salvadoreña desarrolla respirador mecánico para apoyar hospitales*. Obtenido de <https://www.efe.com/efe/america/tecnologia/universidad-salvadorena-desarrolla-respirador-mecanico-para-apoyar-hospitales/20000036-4206147>
- El Mundo. (2020, 04 06). *Así funcionan los respiradores artificiales*. Obtenido de <https://www.elmundo.es/ciencia-y-salud/salud/2020/04/06/5e88e1bbfdddfa7b98b4638.html>
- El Universo. (2020, 04 21). *Empresa ecuatoriana empieza fase final de pruebas de un prototipo de ventilador mecánico para ser usado en la emergencia de coronavirus*. Obtenido de <https://www.eluniverso.com/noticias/2020/04/21/nota/7819584/empresa-ecuatoriana-empieza-fase-final-pruebas-prototipo-ventilador>
- El Universo. (2020, 03 27). *Universidad San Francisco de Quito desarrolla prototipo de respirador artificial*. Obtenido de <https://www.eluniverso.com/noticias/2020/03/27/nota/7797318/universidad-san-francisco-coronavirus-respirador-artificial>
- EngNews. (2020, 03 26). *These engineers created an easy to manufacture open source medical ventilator*. Obtenido de <https://engnews24h.com/these-engineers-created-an-easy-to-manufacture-open-source-medical-ventilator/>
- Fast Grants. (2020, 03 25). *The Macgyvilator disaster ventilator Mk2*. Obtenido de https://www.reddit.com/r/covidhackers/comments/fr2m88/the_macgyvilator_disaster_ventilator_mk2_3252020/
- González, I. (2020, 03 14). *Esta iniciativa española diseñará respiradores artificiales baratos contra el coronavirus*. Obtenido de https://www.elespanol.com/omicron/20200314/iniciativa-espanola-disenara-respiradores-artificiales-baratos-coronavirus/474454447_0.html
- Gramajo, J. (2020, 03 29). *En la USAC crean prototipo de ventilador pulmonar de bajo costo*. Obtenido de <https://www.soy502.com/articulo/estudiantes-usac-fabrican-respirador-artificial-100931>
- News, B. (2020, 03 30). *Coronavirus: cómo funcionan los respiradores y por qué la desesperada carrera por fabricar más es clave en la batalla contra covid-19*. Obtenido de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-52060716>
- Noticias Caracol. (2020, 03 24). *Grupo de caleños trabajan en la creación de respiradores artificiales para pacientes con COVID-19*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=hztzwsIKLxY>
- Respirador Charrúa. (s.f.). *Respirador Charrúa*. Obtenido de <http://www.respiradorcharrua.com.uy/>
- Rice University. (s.f.). *Apollo BVM*. Obtenido de <http://oedk.rice.edu/apollobvm/http://oedk.rice.edu/apollobvm/>
- Richard, M., Avroy, F., & Walsh, M. (2019). *Fanaroff and Martin's Neonatal-Perinatal Medicine*. Ohio: Elsevier.
- Río Negro. (2020, 03 25). *Ingenieros de Bariloche diseñan un prototipo de respirador*. Obtenido de <https://www.rionegro.com.ar/ingenieros-de-bariloche-disenan-un-prototipo-de-respirador-1299378/>

- UNAH. (2020, 05 06). *Ventiladores Mecánicos: Una necesidad puntual para salvar vidas*. Obtenido de <https://foroinnovacionsan.org/post/ventiladores-mec%C3%A1nicos-una-necesidad-puntual-para-salvar-vidas-1588811209752x508152674036219900>
- University of Minnesota. (2020, 03 20). *A Ventilator System Built For Rapid Deployment*. Obtenido de <https://med.umn.edu/covid19Ventilator>
- Vanderbilt University. (2020, 03 27). *VU engineers and VUMC doctors team up for open-source ventilator design*. Obtenido de <https://news.vanderbilt.edu/2020/03/27/vu-engineers-and-vumc-doctors-team-up-for-open-source-ventilator-design/>
- VíaBariloche. (2020, 03 25). *Ingenieros de Bariloche crean un prototipo de respirador*. Obtenido de <https://viapais.com.ar/bariloche/1660627-ingenieros-de-bariloche-crean-un-prototipo-de-respirador/>
- Vida Positiva. (2020, 03 24). *Argentina Unida: Surgen proyectos colaborativos sin fines de lucro para fabricar respiradores*. Obtenido de <https://www.vidapositiva.com/argentina-unida-surgen-proyectos-colaborativos-sin-fines-de-lucro-para-fabricar-respiradores>
- Wilmott, R. (2019). *Kendig. Enfermedades respiratorias en niños*. Madrid: Elsevier .
- Beer, F., Johnston, R., Mazurek, D., Cornwell, P., & Self, B. (2010). *Mecánica vectorial para ingenieros: Estática y Dinámica*. Nueva York: McGraw Hill.
- Bisplinghoff, R. L., & Mar, J. W. (1990). *Statics of deformable solids*. New York: Dover Publications.
- Giancoli, D. (2014). *Physics: Principles with Applications*. Nueva York: Pearson.
- Hibbeler, R. (2010). *Ingeniería mecánica: Dinámica*. México D.F.: Pearson.
- Sears.Zemansky. (2009). *Física Universitaria Volumen 1*. Mexico: Pearson Educación.
- Serway, R., & Jewett, J. (2008). *Physics for Scientists and Engineers*. Belmont: Thomson Brooks/Cole.