



---

## ANÁLISIS CINEMÁTICO DE UN MECANISMO YUGO ESCOCÉS DE UN AIREADOR MECÁNICO PARA PISCINA CAMARONERA

### KINEMATIC ANALYSIS OF A SCOTCH YOKE MECHANISM OF A MECHANICAL AERATOR FOR SHRIMP POOLS

### ANÁLISE CINEMÁTICA DE UM MECANISMO DE JOGO ESCOCÊS DE UM AREJADOR MECÂNICO PARA PISCINAS DE CAMARÃO

---

#### Resumen

**Ph.D. Alexis Cordovés García**

[alexis.cordoves@ute.edu.ec](mailto:alexis.cordoves@ute.edu.ec)

Universidad UTE

Orcid: [https:// Orcid:0000-0002-4431-1340](https://orcid.org/0000-0002-4431-1340)

**Didimo Joel Moreira Vélez**

[didimo.moreira@ute.edu.ec](mailto:didimo.moreira@ute.edu.ec)

Universidad UTE

**Ph.D. Arlis Michel Lastre Aleaga**

[arlys.lastre@ute.edu.ec](mailto:arlys.lastre@ute.edu.ec)

Universidad UTE

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6140-6811?lang=es>

El objetivo de la presente investigación es el de realizar el análisis cinemático de un mecanismo Yugo Escocés para suministrar aire, por inyección, en un aireador mecánico para una piscina camaronera. Mediante el análisis de posiciones se determinó el recorrido límite de los pistones en una revolución completa de la manivela de radio 0,05m, lo que permitió fijar una carrera de trabajo de los pistones de 100 mm, con una velocidad angular del motor de corriente directa de 10,47 rad/s (100 rpm), accionado por energía fotovoltaica. En el análisis de velocidades, un punto P característico situado en el extremo de la manivela alcanza una velocidad instantánea de 0,52 m/s, y la velocidad lineal máxima de los pistones en su recorrido es de 2,02 m/s, suficiente para aspirar aire del entorno e impulsarlo al interior de la piscina, mejorándose así la presencia de oxígeno en el agua durante la producción del camarón. La aceleración máxima alcanzada por los pistones del mecanismo es de 81,89 m/s<sup>2</sup>.

**Palabras claves:** Mecanismo, Análisis Cinemático, Aireador mecánico.

**REVISTA TSE'DE**

Instituto Superior Tecnológico

Tsa'chila

ISSN: 2600-5557



## Abstract

The objective of this research is to carry out the kinematic analysis of a Scotch Yoke mechanism to supply air, by injection, in a mechanical aerator for a shrimp pond. By means of position analysis, the limit travel of the pistons in a complete revolution of the crank with a radius of 0.05m was determined, which allowed setting a working stroke of the pistons of 100 mm, with an angular speed of the direct current motor of 10.47 rad/s (100 rpm), powered by photovoltaic energy. In the speed analysis, a characteristic point P located at the end of the crank reaches an instantaneous speed of 0.52 m/s, and the maximum linear speed of the pistons in their travel is 2.02 m/s, sufficient to suck in air from the environment and push it into the pool, thus improving the presence of oxygen in the water during shrimp production. The maximum acceleration reached by the pistons of the mechanism is 81.89 m/s<sup>2</sup>.

### **Periodicidad Semestral**

Vol. 5, núm. 3

[revistatsede@tsachila.edu.ec](mailto:revistatsede@tsachila.edu.ec)

**Recepción:** 30 de agosto - 2022

**Aprobación:** 03 de octubre -2022

**Publicación:** 31 de diciembre - 2022

### **URL:**

<http://tsachila.edu.ec/ojs/index.php/TSEDE/issue/archive>

Revista Tse'de, Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional.



**Keywords:** Mechanism, Kinematic Analysis, Mechanical aerator.

### **Resumo**

O objetivo desta pesquisa é realizar a análise cinemática de um mecanismo Scotch Yoke para fornecimento de ar, por injeção, em um aerador mecânico para um viveiro de camarão. Por meio da análise de posição, foi determinado o curso limite dos pistões em uma revolução completa da manivela com um raio de 0,05m, o que permitiu definir um curso de trabalho dos pistões de 100 mm, com uma velocidade angular do motor de corrente contínua de 10,47 rad/s (100 rpm), alimentado por energia fotovoltaica. Na análise de velocidade, um ponto característico P localizado na extremidade da manivela atinge uma velocidade instantânea de 0,52 m/s, e a velocidade linear máxima dos pistões em seu percurso é de 2,02 m/s, suficiente para sugar o ar da ambiente e empurrá-lo para dentro da piscina, melhorando assim a presença de oxigênio na água durante a produção de camarão. A aceleração máxima alcançada pelos pistões do mecanismo é de 81,89 m/s<sup>2</sup>.

**Palavras-chave:** Mecanismo, Análise Cinemática, Aerador mecânico.

## **Introducción**

Los aireadores en piscinas camaroneras cumplen la función de mantener un ambiente adecuado a los requerimientos fisiológicos del camarón en estanques, como suplemento a la aireación natural, y contribuyen a mantener el nivel de oxígeno requerido durante la cría de camarones.

Se conoce que la aireación mecánica tiene buena eficiencia, fácil instalación y bajo costo, es la más utilizada mundialmente. En China más del 80% de los aireadores son de impulsión mecánica (Jiang, J., Qiao, Z., Zhu, Z., Huan, J., Shi, B., & Huan, Z., 2020).

La relación entre el diseño mecánico de aireadores y su desempeño funcional ha sido poco estudiada. Blanco-Zúñiga, CR y Rojas-Arias, (N. 2021) investigaron la influencia de la geometría de la hélice de un aireador horizontal, específicamente el perímetro y el ángulo de impacto de las caras de la hélice, en la transferencia de oxígeno disuelto (OD) en aguas anóxicas para diferentes regímenes de operación.

Por otra parte, Hisham A. Abdelrahman y Claude E. Boyd. (2018); César R. Blanco y David E. Aparicio (2022), evaluaron la tasa de transferencia de oxígeno disuelto (OD) en un aireador de superficie de baja velocidad, variando la potencia y la geometría de los impulsores, mejorándose así la eficiencia de aireación estándar (SAE) y reduciéndose el consumo energético asociado a su funcionamiento, sin penalizar la transferencia de OD. En la presente investigación se muestran los resultados del análisis cinemático de un mecanismo Yugo Escocés utilizado en un aireador mecánico, que es accionado por un motor eléctrico DC 12/24v alimentado mediante panel solar. El mecanismo recibe el movimiento desde el motor, para impulsar dos pistones que inyectan aire comprimido al agua de la piscina camaronera.



**Figura 1** Esquema general del mecanismo Yugo Escocés en un aireador de piscina camaronera.

La manivela es accionada por el motor de CD con velocidad angular  $\theta_r$  y mediante el mecanismo de Yugo Escocés se transforma el movimiento de rotación de la manivela en un movimiento rectilíneo alternativo de la horquilla junto a los pistones. En los extremos de cada cilindro se ubica coaxialmente una válvula de no retorno, que permite la salida de aire comprimido desde la cámara hacia el agua de la piscina, y evitar la entrada de agua al interior del cilindro durante el retorno del pistón. Otra válvula de no retorno, ubicada con una disposición radial, posibilitará la entrada de aire al cilindro durante la carrera de vacío de los pistones y el cierre de la cámara durante la compresión de aire.

## **2.2 Análisis cinemático del mecanismo**

En la Figura 2 se muestra el diagrama cinemático del mecanismo Yugo Escocés que pertenece a la cadena cinemática de un aireador para piscina camaronera. Como se observa, el mecanismo tiene cuatro eslabones ( $n=4$ ). El eslabón No.1 es el de la base o bancada, materializado por el apoyo rotatorio fijo ( $R_{1,2}$ ), por donde se fija la manivela al eje del motor eléctrico y adicionalmente, en la fijación los dos cilindros que sirven de soporte a los pistones. El eslabón No.2 corresponde a la manivela. El eslabón No.3 es la corredera que representa el pasador o perno que se fija al extremo de la manivela y se desliza por el interior de la ranura de la horquilla. Por último, el elemento No.4 es otra corredera, que representa el eslabón móvil solidario a los pistones y que se extiende a ambos lados del apoyo rotatorio fijo ( $R_{1,2}$ ); se acopla por un lado al eslabón No.3 mediante una junta de deslizamiento de traslación móvil y por el otro lado a la bancada (cilindros), mediante una junta de deslizamiento de traslación fija.



J2 = número de juntas de 2 ó más grados de libertad (semijuntas)

Como se observa en la Figura 2, los pares cinemáticos que se forman en el mecanismo son los siguientes:

P (1,2): Par cinemático de revoluta entre la bancada 1 y la manivela 2, con junta rotatoria fija. Es un par cinemático inferior por materializar un contacto superficial entre ambos elementos.

P (2,3): Par cinemático tipo pasador o perno fijo, que asegura la unión entre el pasador (punto *P* en la Figura 3) que actúa como la corredera 3, y la manivela 2. Es un par cinemático inferior por materializar el contacto superficial entre ambos elementos.

R (3,4): Par cinemático prismático, que asegura el deslizamiento de la corredera 3 (pasador o perno insertado en el punto *P*, ver Figura 3), sobre la ranura de la corredera 4 (eslabón móvil de los pistones). Es un par cinemático inferior por materializar el contacto superficial entre los elementos 3 y 4.

P (1,4): Par cinemático prismático que asegura el deslizamiento de la corredera 4 (eslabón móvil de los pistones) dentro del cilindro (Eslabón 1). Es un par cinemático inferior por materializar el contacto superficial entre los elementos 1 y 4.

Al aplicar la ecuación [1] se determina la cantidad de grados de libertad o de movilidad del mecanismo.

Datos:

$N$ = número de eslabones igual, 4

$J_1$ = número de juntas inferiores, 4

$J_2$ = número de juntas superiores, 0

$$M = 3(4 - 1) - 2(4) - 0$$

$$M = 9 - 8$$

$$M = 1$$

Ello indica que se necesitará fijar un solo parámetro para llevar el mecanismo hasta una posición determinada. En este caso, será suficiente asegurar el movimiento de rotación de la manivela en un ángulo de giro  $\theta_r$ , para predecir el movimiento de salida rectilíneo alternativo de los pistones. La variación del valor  $\theta_r$  determinará en cada momento la posición de los pistones dentro de cada cilindro del mecanismo.

A continuación, se realizará el análisis cinemático del mecanismo propuesto, se determinarán las ecuaciones que caracterizan la posición que adopta el punto  $P$  en función del valor del ángulo  $\theta_r$  de la manivela, y se calculará la velocidad lineal en dicho punto. Con este fin, se realizará el análisis para un valor  $\theta_r$  igual a  $45^\circ$  medido respecto al eje de las abscisas, tal como se muestra en la Figura 3. La longitud de la manivela se considera igual a 50 mm.

### Determinación del vector posición del punto P

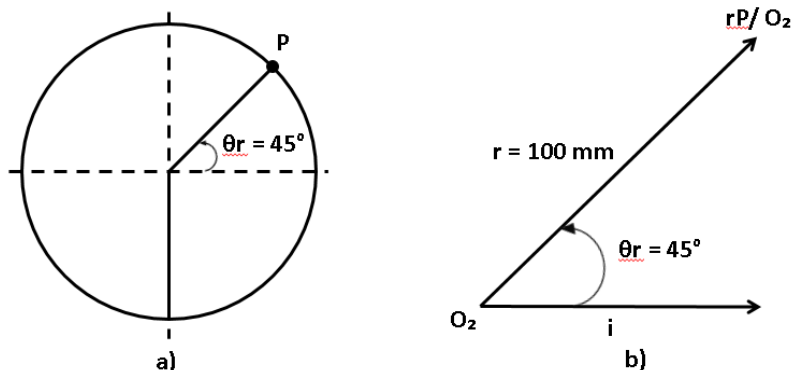


Figura 3 Esquema que representa la posición del punto P

$$\vec{rP/O_2} = r * \cos\theta r i + r * \sen\theta r j \quad [2]$$

$$\vec{rP/O_2} = 0,05m * \cos45^\circ i + 0,05m * \sen45^\circ j$$

$$\vec{rP/O_2} = 0,05m * 0,707i + 0,05m * 0,707j$$

$$\vec{rP/O_2} = 0,03535i + 0,03535j$$

### Cálculo de la velocidad del punto P

El movimiento que realiza el punto *P* de la manivela puede describirse a partir de las ecuaciones del movimiento plano. Así, el cálculo de la velocidad lineal de dicho punto en su trayectoria se determina por la ecuación [3]

$$v = \omega_{motor} * r \quad [3]$$

Donde:

*v* = velocidad lineal en m/s

$\omega_{motor}$  = velocidad angular del motor en rad/s

*r* = radio de la manivela en m

El motor seleccionado tiene las especificaciones indicadas en la tabla 1:

**Tabla 1** Especificaciones técnicas del motor eléctrico

Motor	Especificaciones
<b>Modelo</b>	D88R-12120-100
<b>Voltaje</b>	12 V
<b>Amperaje</b>	3,2 A
<b>Potencia</b>	120 W
<b>Torque</b>	23 N.m
<b>Velocidad angular</b>	10,47 rad/s (100 RPM)

De la tabla 1 se tiene que  $\omega_{motor}$  es de 10,47 rad/s (100 rpm) y asumido el valor del radio de la manivela como la distancia desde el punto *P* hasta su centro de rotación, igual a 50 mm, se puede determinar la velocidad lineal del punto *P* mediante la ecuación [3]:

$$v = 10,47 \frac{\text{rad}}{\text{s}} * 0,05\text{m}$$

$$v = 0,52 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Al calcular el período ( $T$ ) en términos de la velocidad angular, se determinará el tiempo que tardará la manivela en dar 1 vuelta completa en segundos.

$$T = 2 \cdot \pi / \omega_{motor} \quad [4]$$

$$T = 2 \cdot \pi / 10,47 \text{ rad/s}$$

$$T = 0,6 \text{ s}$$

Se procede a calcular los ciclos (frecuencia) de la manivela por cada segundo.

$$\text{ciclos} = 1 / T \quad [5]$$

$$\text{ciclos} = 1 / 0,6 \text{ s}$$

$$\text{ciclos} = 1,7$$

Es decir que la manivela completará 1,7 vueltas durante cada segundo

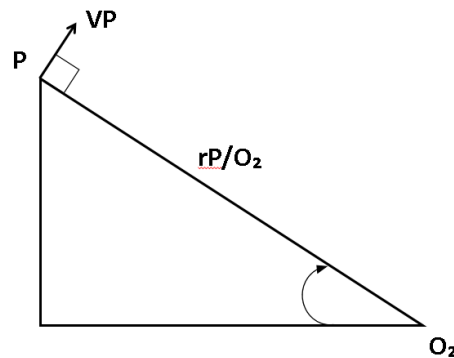


Figura 4 Esquema que representa la velocidad del punto  $P$

Análisis vectorial

$$\vec{VP} = \vec{VO2} + \vec{VP/O2} + \vec{VrelP/O2} \quad [6]$$

$$\vec{VP/O2} = \vec{\omega} \cdot \vec{rP/O2} \quad [7]$$

$$\vec{VP/O2} = \omega \cdot k(0,03535i + 0,03535j)$$

$$\overline{VP}/O_2 = 10,47 k(0,03535i + 0,03535j)$$

$$\overline{VP}/O_2 = -0,37011i + 0,37011j$$

$$VP/O_2 = \sqrt{(-0,37011)^2 + (0,37011)^2}$$

$$VP/O_2 = 0,5234m/s$$

Como puede observarse el resultado obtenido es equivalente al valor de la velocidad lineal del punto  $P$  obtenido mediante la ecuación [3] de  $v = 0,52 \frac{m}{s}$

### **Cálculo de la posición, velocidad y aceleración de los pistones**

A partir del esquema de la Figura 1 se puede determinar la expresión que define la posición de los pistones en el eje de las abscisas en función del ángulo de giro de la manivela  $\theta_r$ .

Posición del pistón:

$$x = r \cos \theta_r \quad [1]$$

Derivando la ecuación [8] respecto al tiempo, se obtiene la ecuación de la velocidad:

Velocidad del pistón:

$$v = \frac{dx}{dt} = -r \operatorname{sen} \theta_r \frac{d\theta_r}{dt} = -r \operatorname{sen} \theta_r \omega_{motor} \quad [2]$$

Derivando dos veces la ecuación [8] respecto al tiempo, se obtiene la ecuación de la aceleración:

Aceleración del pistón:

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{dv}{dt} = -r \omega_{motor} \cos \theta_r \frac{d\theta_r}{dt} = -r \omega_{motor}^2 \cos \theta_r \quad [3]$$

Al utilizar las ecuaciones [8], [9] y [10] se determinan los valores de posición, velocidad y aceleración de los pistones en puntos característicos que definen las posiciones

intermedias y extremas del desplazamiento de los pistones (giro de la manivela según los ángulos notables). La tabla 2 recoge dichos valores.

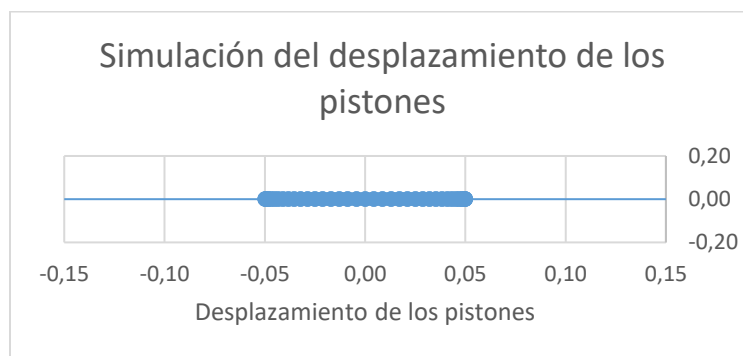
**Tabla 2** Valores de posición, velocidad y aceleración del punto de interés P

Ángulo $\theta_r$	Posición (mm)	Velocidad (m/s)	Aceleración (m/s <sup>2</sup> )
0°	50	0	-81,89
90°	0	-2,02	0
180°	-50	0	81,89
270°	0	2,02	0
360°	50	0	-81,89

### Gráficas de posición, velocidad y aceleración de los pistones

Las figuras de la 5 a la 8 muestran el comportamiento del recorrido, posición, velocidad y aceleración de los pistones para un paso angular del giro de la manivela de 5 grados, al implementar las mismas ecuaciones [8], [9] y [10] en Microsoft Excel.

En la Figura 5 se muestra la gráfica del desplazamiento lineal de los pistones en su recorrido durante el movimiento rectilíneo alternativo de vaivén. Las posiciones límites de los pistones se alcanza cuando el punto de interés *P* de la manivela se encuentra sobre el eje de las abscisas a 0° y a 180° grados (Ver Figura 1).

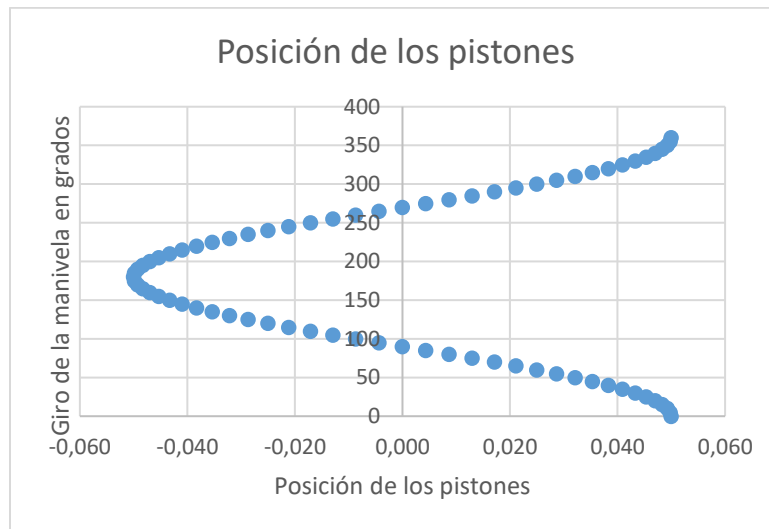


**Figura 5** Gráficas del desplazamiento lineal de los pistones

El recorrido total de los pistones es de 100 mm (0,1 m), para la manivela de radio 50 mm (0,05 m), que se alcanza entre el rango de -0,05 a 0,05 m del eje de las abscisas (Ver

figura 5). El origen del sistema de coordenadas se ha ubicado en el eje del motor que acciona la manivela.

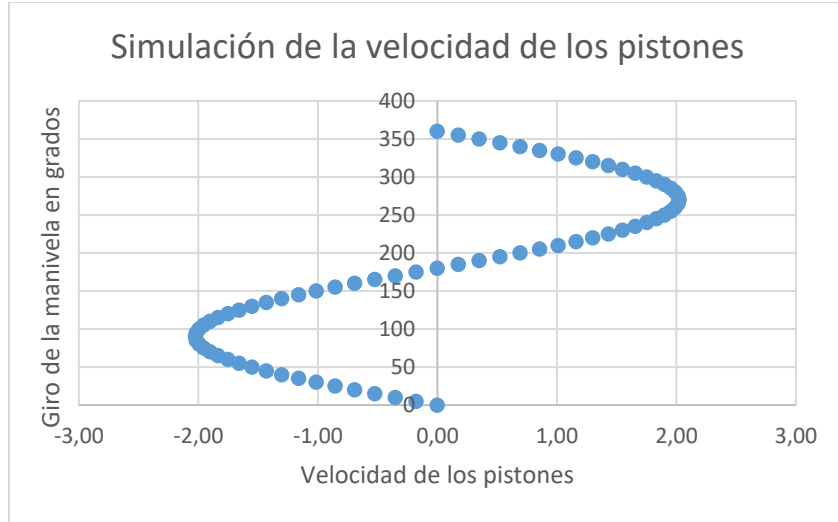
La Figura 6 representa la posición de los pistones para cada valor del ángulo de giro  $\theta_r$  de manivela.



**Figura 6** Posición de los pistones.

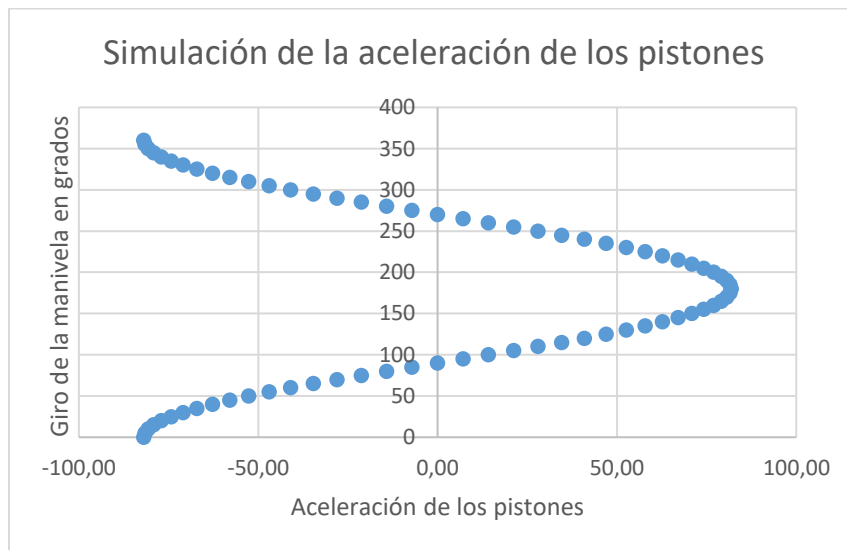
La Figura 7 muestra el comportamiento de la velocidad de los pistones en función del ángulo de giro  $\theta_r$  de la manivela. Puede apreciarse que los pistones alcanzan la velocidad límite de 2,02 m/s justo en la posición de la manivela que se corresponde con la posición del punto de interés  $P$  a los 90° y 270° grados respectivamente al cumplirse la mitad del recorrido lineal de los pistones en los cilindros.

Las velocidades se hacen 0, cuando el punto de interés  $P$  de la manivela se encuentra justo en las posiciones extremas del recorrido de los pistones, en las que se produce el cambio de sentido del movimiento de los pistones en esa dirección.



**Figura 7** Simulación de la velocidad de los pistones

La Figura 8 muestra el comportamiento de la aceleración de los pistones en función del ángulo de giro  $\theta_r$  de la manivela. Puede apreciarse que los pistones alcanzan la máxima aceleración de  $81,89 \text{ m/s}^2$  en las posiciones extremas de los pistones correspondientes a  $0^\circ$  y a  $180^\circ$  grados del punto de interés  $P$  de la manivela.



**Figura 8** Simulación de la aceleración de los pistones

## Resultados y Discusión

Al considerar el origen del sistema de coordenadas en el eje del motor. Las posiciones extremas de los pistones del aireador en las coordenadas del eje de las abscisas  $-0,05$  m y  $0,05$  m expresan el recorrido total de cada pistón igual a  $100$  mm, esas posiciones extremas se corresponden con el ángulo de la manivela de  $0^\circ$  y  $180^\circ$ .

El recorrido del pistón sigue un movimiento rectilíneo alternativo de vaivén en una carrera de trabajo y otra en vacío. Durante la carrera de trabajo, el aire se comprimirá hasta vencer la resistencia de la válvula de no retorno ubicada en el extremo del cilindro propiciándose así la inyección de aire comprimido al agua de la piscina. Durante la carrera en vacío entrará aire en el cilindro proveniente del exterior por efecto de succión, también a través de una válvula de no retorno.

Se seleccionó un motor de CD modelo D88R-12120-100, con una  $\omega_{motor}$  de  $10,47$  rad/s ( $100$  rpm), junto a la manivela de radio  $0,05$  m, aseguran una velocidad instantánea en el extremo de la manivela de  $0,52$  m/s.

La velocidad límite del pistón de  $2,02$  m/s se alcanza cuando la manivela se encuentra en la posición de  $90^\circ$  y  $270^\circ$  que son las posiciones intermedias en el recorrido de los pistones. Este valor es bajo en comparación con las recomendaciones de velocidad lineal límite de  $20$  m/s en mecanismos biela-manivela-pistón, lo que deberá facilitar la entrada de aire al cilindro desde el exterior y disponer de suficiente aire para la carrera de trabajo. Las posiciones de la manivela con valores de  $\theta_r$  de  $0^\circ$  y  $180^\circ$  se corresponden con las posiciones extremas de los pistones, en las que la velocidad se hace cero (Ver tabla 2), ya que los pistones se detienen instantáneamente para cambiar de sentido de

desplazamiento, mientras que en estos puntos se alcanza el valor máximo de aceleración igual a 81,89 m/s<sup>2</sup>.

### **Conclusiones**

1. Se realizó el análisis cinemático de un mecanismo Yugo Escocés para un aireador mecánico de una piscina camaronera, mediante el cual se determinó el recorrido límite de los pistones, a través del análisis de posiciones del mecanismo.
2. Se determinó, mediante el método analítico, la velocidad instantánea para los ángulos notables de la posición de la manivela. Se alcanza la máxima velocidad del pistón de 2,02 m/s en la posición intermedia del recorrido de los pistones, mientras que en las posiciones extremas la velocidad se hace cero.
3. Se determinó igualmente, mediante el método analítico, la aceleración para los ángulos notables de la posición de la manivela. La mayor aceleración se alcanza al final del recorrido de los pistones con un valor de 81,89 m/s<sup>2</sup>.
4. Las figuras 5 a la 8 muestran la simulación gráfica en Microsoft Excel del comportamiento del mecanismo con un paso angular de  $\theta_r = 5^\circ$  grados en una revolución completa de la manivela, pudiéndose corroborar los valores de posición, velocidad y aceleraciones determinados por métodos analíticos.

## **Referencias**

- Avello Alejandro (2014). Teoría de Máquinas. Segunda Edición. Universidad de Navarra, España 2014.
- Blanco-Zúñiga, C. R. y Rojas-Arias, N. (2021). Influencia del ángulo y perímetro de impacto de las aspas en un aireador de eje horizontal sobre la transferencia de oxígeno disuelto. *Tecnología y ciencias del agua*. Morelos, MX, 12(5), pp. 350-376. doi: 10.24850/j-tyca-2021-05-08
- César René Blanco Zúñiga, David Eduardo Aparicio Plazas, (2022). Incremento de la eficiencia estándar de aireación (SAE), de un aireador de superficie de baja velocidad. *Investigación e Innovación en Ingenierías*. ISSN 2344-8652. Jul 2022. DOI: 10.17081/invinno.10.1.4950
- Hisham A. Abdelrahman Ph.D. Claude E. Boyd, Ph.D. (2018). Efectos de la aireación mecánica sobre la tasa de evaporación, temperatura del agua. *Global Aquaculture Advocate*. 2018
- Jiang, J., Qiao, Z., Zhu, Z., Huan, J., Shi, B., & Huan, Z. (2020). Economical mechanical aeration method in high-density aquaculture. *Journal of Coastal Research*, 105(sp1), 81-83. doi:10.2112/JCR-SI105-017.1
- Robert L. Norton (2000). *Diseño de Maquinaria*. Segunda Edición McGraw-Hill, ISBN 970-10-2655-1, México, 2000.