

Diseño y construcción del sistema mecánico para un agitador de movimiento orbital

RESUMEN: El sistema mecánico en un agitador orbital es la parte fundamental para un correcto y eficiente funcionamiento. Este proyecto se centró en el diseño y desarrollo del sistema mecánico para el prototipo de un agitador de movimiento orbital, abordando el proceso en diversas etapas de diseño y construcción. Se emplearon conjuntos, componentes mecánicos y eléctricos, algunos de los cuales fueron fabricados a medida, mientras que otros se adquirieron a través de plataformas digitales. Los materiales principales fueron ruedas de sincronización, baleros, motor eléctrico y ejes excéntricos, estos últimos elaborados en un torno para hacerlos a la medida del sistema. Como resultado se desarrolló y validó el funcionamiento de un agitador de movimiento orbital capaz de soportar una carga máxima de 1.8 kg en su máxima capacidad, además, con una velocidad ajustable de 0 a 250 r.p.m., lo que permite al usuario personalizar el funcionamiento según sus necesidades experimentales. Este sistema es recomendado para experimentos que requieran largos periodos de operación. Las principales ventajas del sistema mecánico radican en su diseño y construcción, facilitando tanto el ensamblaje como el desmontaje, además de permitir un mantenimiento sencillo, contribuyendo a la reducción de tiempos y costos operativos, haciendo que el agitador sea una opción eficiente y accesible para laboratorios y entornos de investigación.

PALABRAS CLAVE: Control, Mecánico, Orbital, Sistema, Velocidad.



Colaboración

José Jonathan Barreto Gutiérrez; Merit Cisneros González, Jaime Herrera Gamboa; Darío Cisneros Arreola, Manuel Ismael Mata Escobedo, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Valle del Guadiana

Fecha de recepción: 22 de octubre de 2024

Fecha de aceptación: 04 de marzo de 2025

Abstract: The mechanical system in an orbital shaker is fundamental part for a correct and efficient operation. This project focused on the design and development of the mechanical system for the prototype of an orbital motion shaker, addressing the process in various stages of design and construction. Mechanical and electrical assemblies and components were used, some of which were custom-made, while others were acquired through digital platforms. The main materials were synchronization wheels, bearings, electrical motor, and eccentric shafts, the last ones were crafted on a lathe machine to fit into the system precisely. As a result, the operation of an orbital motion shaker capable of supporting a maximum load of 1.8 kg at its highest capacity, with an adjustable speed ranging from 0 to 250 r.p.m., allowing the user to customize its operation according to their experimental requirements. This system is highly recommended for experiments that need long periods of operation. The main advantages of the mechanical system lie in its design and construction, which facilitate both assembly and disassembly, as well as allowing for easy maintenance, contributing to reduced operational times and costs, making the shaker an efficient and accessible option for laboratories and research environments.

KEYWORDS: Control, Mechanical, Orbital, System, Speed.

INTRODUCCIÓN

Dentro de la gran variedad de equipos de laboratorio que se encuentran en el mercado, están los agitadores de movimiento orbital, los cuales tienen una alta demanda por sus aplicaciones en los laboratorios [1].

En México, la mayoría son importados, elevando significativamente su costo. En este contexto, se pueden buscar alternativas para el desarrollo con mayor eficiencia y costos más accesibles [2].

El sistema mecánico de los agitadores orbitales representa el componente de mayor costo, en términos de fabricación y mantenimiento. Además, la disponibilidad de refacciones y especialización técnica requerida para su reparación pueden ser limitadas y de origen extranjero. Esto no solo incrementa los costos de operación, dificulta su mantenimiento oportuno, afectando la continuidad de los procesos experimentales. Aunque su durabilidad es generalmente alta, la obtención de repuestos y complejidad de mantenimiento representa desafíos especialmente para laboratorios e instituciones con presupuestos limitados.

Por lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo el diseño y desarrollo de un sistema mecánico para un agitador que ofrezca una alternativa accesible y eficiente frente a los equipos convencionales que se encuentran en el mercado. Utilizando materiales económicos y de fácil adquisición sin comprometer la resistencia y eficiencia del sistema. Para ello, el proceso se llevo a cabo en diferentes etapas de desarrollo, abarcando desde el diseño hasta la construcción del sistema mecánico.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se llevo a cabo el diseño y la construcción del sistema mecánico para un agitador de movimiento orbital, donde se destaca la importancia de los componentes clave: el motor eléctrico, los ejes excéntricos y los rodamientos. Estos elementos son cruciales para generar el movimiento orbital preciso y estable, asegurando un desempeño eficiente del equipo. Además, implementando un sistema eléctrico para control de velocidad del movimiento. El proceso de desarrollo incluye las siguientes etapas: Diseño del sistema mecánico, selección de los materiales, desarrollo del sistema, pruebas de funcionamiento.

Diseño del sistema mecánico

La agitación orbital depende de un sistema mecánico que genera un movimiento circular, gracias a la acción de los componentes excéntricos. Esto permite que, en cualquier punto de la bandeja, se trace una trayectoria perfectamente circular [3].

Para el diseño del sistema, se utilizó el software FreeCADMR, el cual fue fundamental para el desarrollo del proyecto, ya que permite la creación de modelos en 3D que brindan una visión integral del diseño. Mediante las representaciones tridimensionales, se visualiza de manera precisa la disposición de cada pieza, verifica las dimensiones y realizar

ajustes. Este enfoque facilita la optimización de cada componente, asegurando el ensamblaje que se va a realizar.

En la Figura 1 se presenta el diseño en 3D utilizado como base para la construcción del sistema mecánico del agitador orbital. Este diseño muestra la distribución del sistema mecánico del agitador, con la distribución de las piezas clave del sistema que son: los ejes excéntricos, el motor eléctrico, las ruedas de sincronización y los rodamientos (baleros).

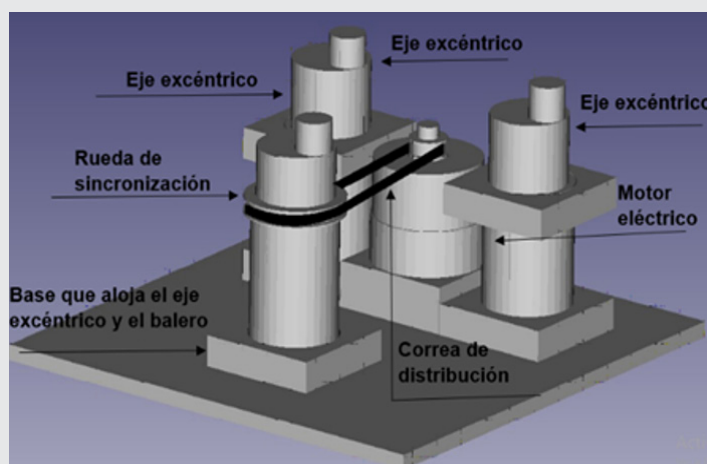


Figura 1. Diseño del sistema mecánico.

Fuente: Elaboración propia.

El sistema se compone de tres ejes excéntricos, siendo uno de ellos posicionado directamente enfrente del motor. Dicho eje y el motor tienen cada uno una rueda de sincronización dentada que se conectan por medio de una rueda de distribución, asegurando la transmisión del sistema, la elección de utilizar la rueda de sincronización en el diseño garantiza el acoplamiento firme y evita deslizamientos durante el movimiento.

Los dos ejes excéntricos ubicados al costado del motor son fundamentales para garantizar la estabilidad en la bandeja y asegurar el movimiento orbital. Además, que dichos ejes ayudan a equilibrar las fuerzas, mejorando la estabilidad del agitador.

Para reducir la fricción y asegurar un giro suave en los ejes excéntricos, se instalaron baleros en sus ejes y la parte central e inferior de cada pieza, como se muestra en el diseño utilizado.

En la Figura 2 se presenta el diseño con una vista área del sistema mecánico y la distribución de cada pieza, dentro de lo que es la carcasa del agitador. El sentido de giro del movimiento orbital será respecto a las manecillas del reloj. La secuencia de operación comienza cuando el motor gira e impulsa al eje excéntrico que está unido a él. A medida que la bandeja se coloque sobre cada eje excéntrico, estos también comienzan a girar, logrando el movimiento orbital deseado.

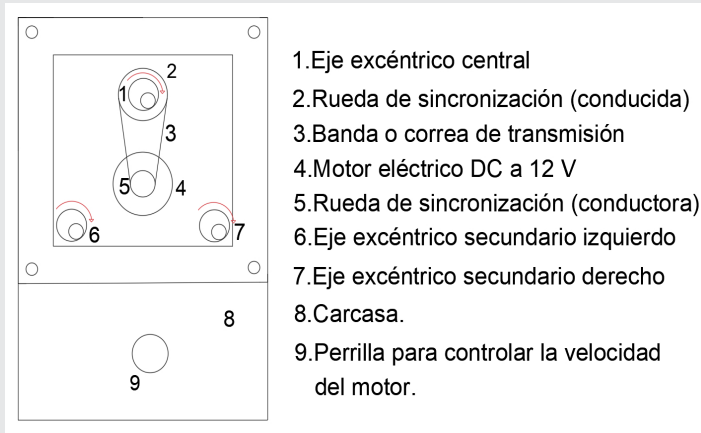


Figura 2. Diseño del eje excéntrico.

Fuente: Elaboración propia.

Selección del material

El sistema está compuesto por elementos mecánicos que permiten a la bandeja realizar un movimiento orbital [4]. La selección de los materiales se llevó a cabo basándose lo más posible al diseño realizado (Figura 1), así como del proceso geométrico de cada componente mecánico y electrónico, además de los requisitos de manufactura.

En algunos casos, ciertos elementos no fueron diseñados específicamente, sino que fueron adquiridos directamente del mercado digital. Este fue el caso de componentes como el motor eléctrico, ruedas de sincronización, correa de distribución y los rodamientos.

El motor eléctrico seleccionado para la transmisión es un motor de corriente continua, diseñado para operar con un voltaje de 12 V y corriente nominal de 0.5 A. Con un par de arranque de 1.9 kg y una velocidad variable de 0 a 550 r.p.m., ese motor fue elegido por su capacidad para generar la potencia necesaria sin ocupar demasiado espacio, lo cual es fundamental para adaptarse a la carcasa del agitador. Para asegurar una instalación estable, se desarrolló una base impresa en 3D que mantiene el motor firmemente en su lugar.

Los ejes excéntricos fueron fabricados mediante un proceso de torneado, utilizando acero inoxidable como material principal. Esta elección se debe a las propiedades superiores de resistencia y durabilidad del acero inoxidable, lo que garantiza un alto rendimiento incluso bajo carga, además asegurar una mayor estabilidad durante el movimiento rotacional. La excentricidad de los ejes es fundamental para generar el movimiento orbital requerido, por lo que se fabricaron tres piezas idénticas. Con el fin de asegurar la precisión y uniformidad en su funcionamiento

La Figura 3 muestra el diseño excéntrico con sus dimensiones. El eje tiene una longitud total de 14 cm y un radio de giro de 1 cm. El diseño específico asegura que el movimiento no sea simplemente rotacional, si no que describa una trayectoria elíptica.

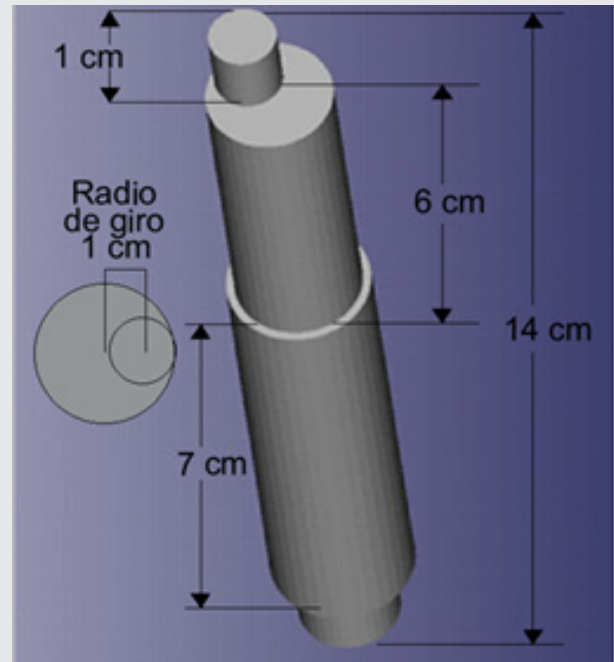


Figura 3. Diseño del eje excéntrico.

Fuente: Elaboración propia.

Se optó por utilizar dos ruedas de sincronización encontradas en el mercado digital, fabricadas en aleación aluminio Figura 4, para garantizar una alta resistencia y durabilidad. La primera rueda tiene un diámetro de 4.4 cm, con un centro de 0.8 cm y 60 dientes, mientras que la segunda mide 1.6 cm de diámetro, con un centro de 0.8 cm y 20 dientes. La cantidad de dientes en ambas ruedas son esenciales para tener un acoplamiento preciso y eficiente, permitiendo una transmisión de movimiento fluido y sin deslizamientos.

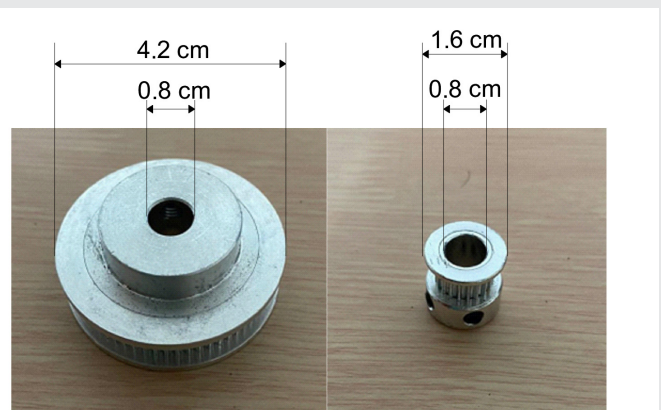


Figura 4. Dibujo carcasa (vista lateral).

Fuente: Elaboración propia.

Estas ruedas van acompañadas de una correa de distribución hecha de caucho, con una longitud de 20 cm y equipada con dientes que se ajustan perfectamente a las ruedas de sincronización, lo que garantiza un funcionamiento constante y sin pérdidas de sincronización, asegurando la precisión durante el movimiento.

Se emplearon un total de 9 baleros de dos medidas diferentes Figura 5. Estos son cruciales para reducir la fricción entre piezas móviles (con el eje excéntrico), además contribuye a la estabilidad y precisión del movimiento orbital. seis baleros son de medida 608 2RS, tienen un diámetro exterior de 4.7 cm y un diámetro interior de 2 cm, mientras que el resto son de medida 620 2RS y cuentan con un diámetro exterior de 2.2 cm e interior de 0.8 cm.

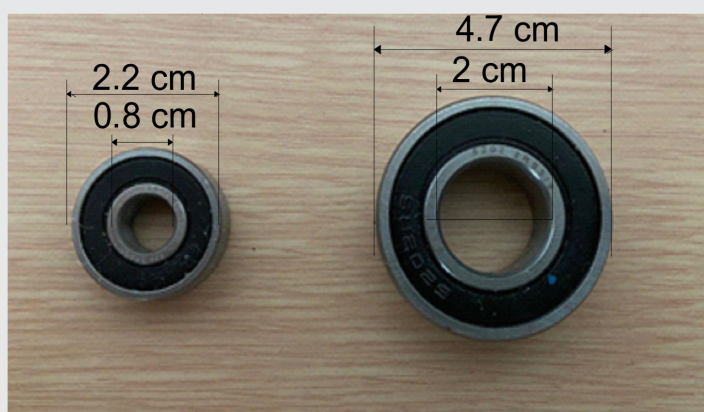


Figura 5. Dibujo carcasa (vista superior).

Fuente: Elaboración propia.

Para alojar todo el sistema mecánico se optó por utilizar una carcasa reciclada de aluminio, material elegido por su ligereza, resistencia y capacidad de disipar el calor. Además, es esencial para asegurar la protección y alineación de los componentes, lo que contribuye a la durabilidad del equipo. Las dimensiones de la carcasa se detallan las Figuras 6 y 7.

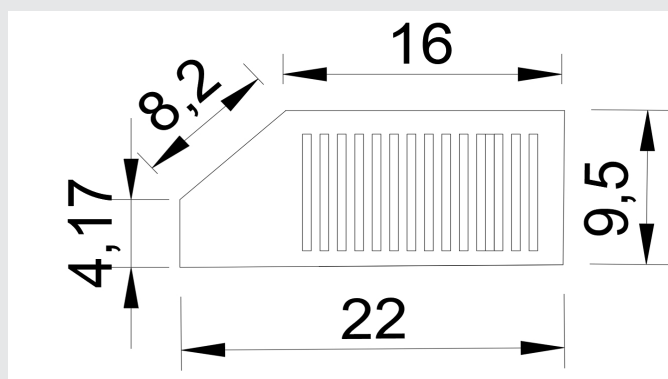


Figura 6. Carcasa.

Fuente: Elaboración propia.

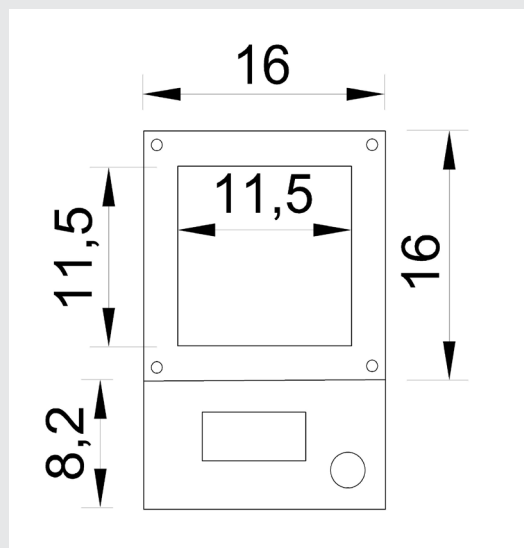


Figura 7. Sistema mecánico.

Fuente: Elaboración propia.

Desarrollo del sistema

a) Desarrollo sistema mecánico

El proceso de construcción del equipo incluyó varias etapas clave, comenzando con la restauración de la carcasa. Este paso fue fundamental para asegurar la funcionalidad como la estética del agitador. La carcasa se pulió para obtener una superficie más lisa, lo que no solo mejora su apariencia visual, sino que también facilita la aparición de la pintura y previene la acumulación de suciedad o contaminantes. Posteriormente, se pintó de color azul Figura 8, para mejorar la estética y proporcionando una capa adicional de protección, asegurando una mayor durabilidad y resistencia.

La carcasa está compuesta de dos piezas principales como se muestra en la Figura 8, la parte inferior que funciona como base y donde se aloja el sistema mecánico, asegurando la sujeción y alineación de cada componente para su funcionamiento estable y la parte superior, que se ensambla con la parte inferior. Esta última no solo cumple una función estructural, sino que también tiene un enfoque estético, ya que es la parte visible del agitador, por ello se busca una apariencia atractiva que contemplara la funcionalidad del equipo.

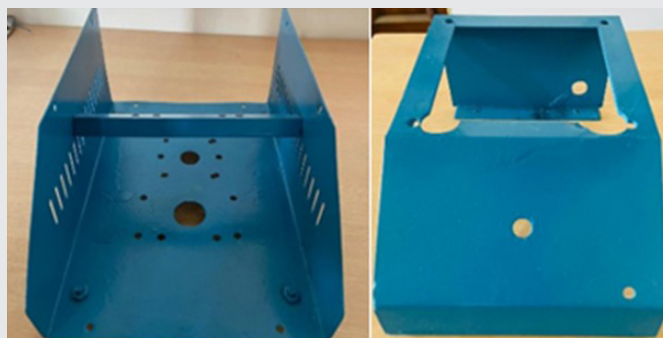


Figura 8. Carcasa.

Fuente: elaboración propia.

En la sección de la carcasa donde va alojado el sistema mecánico, se instaló una barra metálica de 1 cm de ancho por 16 cm de largo en posición horizontal. Su función es proporcionar soporte a las bases metálicas que sostienen los baleros y los ejes excéntricos.

En la Figura 9 se muestra la colocación de cada componente real, según el diseño en 3D presentado en la Figura 1.

Para garantizar un funcionamiento más estable del sistema, se instalaron los tres ejes excéntricos en una disposición triangular. De esta manera se optimizó la distribución de las fuerzas que se aplican. Cada eje excéntrico se apoya sobre un balero de 4.7 cm de diámetro, mientras que otro balero fue colocado en el centro del cuerpo para mejorar la estabilidad, reducir el ruido y la fricción.



Figura 9. Base o bandeja del agitador.

Fuente: Elaboración propia.

El eje excéntrico principal fue equipado con una rueda de sincronización de 60 dientes, elemento clave para la transmisión del movimiento. Frente a esta pieza se instaló el motor eléctrico, al cual también se instaló a su eje una rueda de sincronización de 20 dientes. Ambos componentes, el eje principal y el motor eléctrico están conectados mediante una correa de sincronización dentada, lo que permite la transmisión de movimiento.

La transmisión del sistema se basa en una configuración de polea conductora y polea de conducida (Figura 10). En este caso, el motor eléctrico actúa como la polea conductora, porque es el que genera el desplazamiento de la correa y el eje excéntrico funciona

como la polea conducida, al recibir el movimiento por la polea conductora.

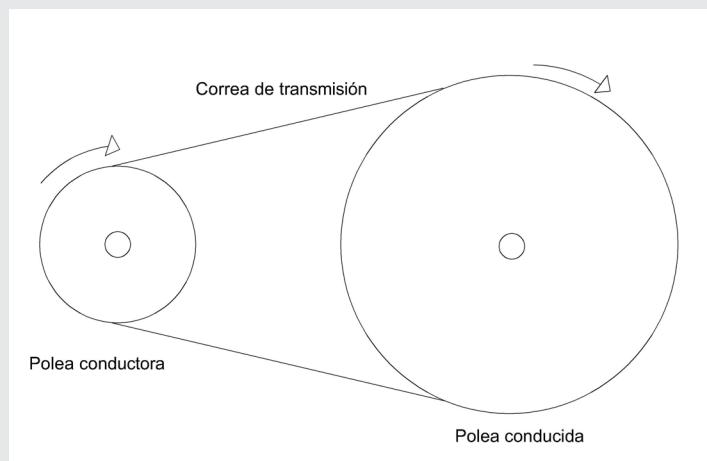


Figura 10. Sistema polea conductora-polea conducida.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 11 se presenta el diseño y las dimensiones de la bandeja destinada al agitador orbital. Como parte fundamental del sistema, se incorporaron tres baleros, cuya función es proporcionar un soporte a cada uno de los ejes excéntricos.

Cuando los ejes excéntricos comienzan a girar, los baleros facilitan el movimiento suave y controlado de la bandeja, permitiendo que se desplace de manera orbital. Esta configuración garantiza una transmisión de movimiento eficiente, mejorando la estabilidad del sistema.

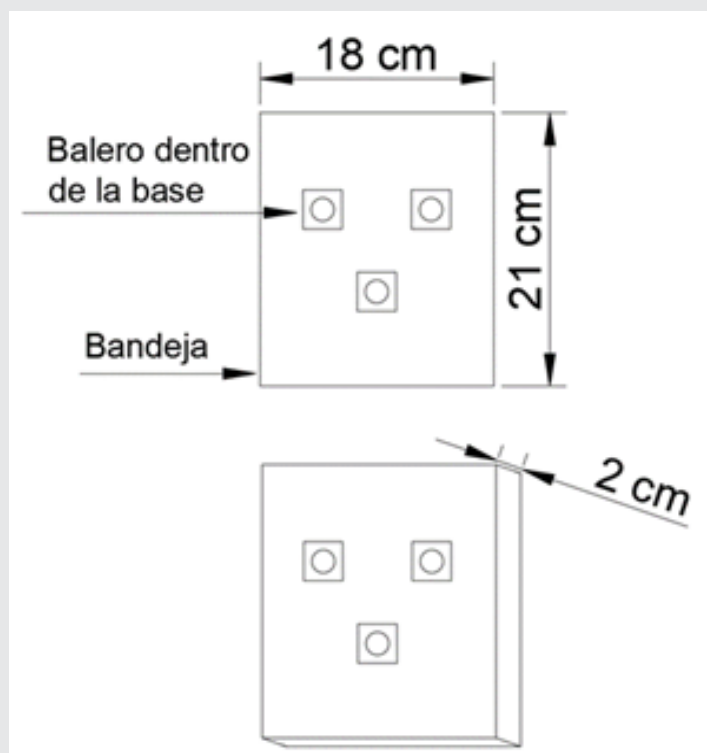


Figura 11. Diseño de la bandeja del agitador orbital.

Fuente: elaboración propia.

La bandeja diseñada para el agitador orbital mostrada en la Figura 12 se fabricó en aluminio debido a sus propiedades mecánicas y su baja densidad, lo que la hace ligera pero resistente, además su peso reducido contribuye a mejorar la eficiencia del sistema, reduciendo la carga sobre los ejes excéntricos y los baleros.

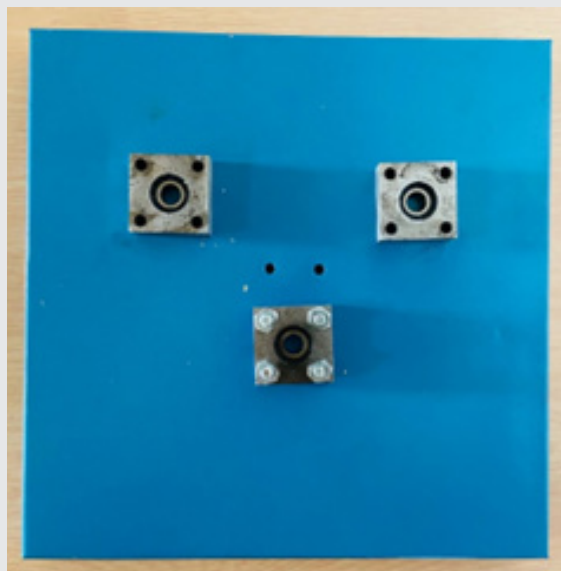


Figura 12. Bandeja del agitador.
Fuente: elaboración propia.

Para lograr una estética uniforme y acorde con la carcasa, se pintó de color azul. Siguiendo las especificaciones de la Figura 11, se integraron los tres baleros de 2.2 cm de diámetro, asegurando un movimiento fluido y estable.

Una de las principales ventajas del sistema mecánico, es su diseño modular, que permite ensamblar y desmontar fácilmente cada componente. Todas las piezas están unidas mediante tornillos, lo que simplifica el mantenimiento, reduce el tiempo de operación y facilita la sustitución de piezas en caso de desgaste o falla.

b) Sistema electrónico para el control de velocidad

Para el control de velocidad del motor se utilizó el método de modulación por ancho de pulso (PWM, por sus siglas en inglés). Este método consiste en generar pulsos que varían en su ciclo conforme el valor de señal de la entrada, en este caso la señal de voltaje [5].

Se utilizó un módulo fabricado que cuenta una placa de circuito que contiene 3 transistores, unidos por sus respectivos pines y capacitores para almacenamiento de voltaje. Conectados a una terminal de alimentación para la fuente de poder y el motor eléctrico de corriente directa. El módulo trabaja de

6 a 60 V y soporta hasta 30 A y regula la velocidad desde 0 a 100%. El control es de forma manual, es decir el usuario puede regular la velocidad por medio de un potenciómetro de 100 k, que al girarlo puede variar la velocidad.

Se utilizó una fuente de poder que se conecta a 127 V y proporciona los 12 V con los que trabaja el módulo. Esto con el fin del equipo pueda conectarse en cualquier lugar que tenga 127 V.

Pruebas de funcionamiento

Una vez ensamblado y en funcionamiento el equipo, se realizaron diversas pruebas de desempeño del agitador orbital para evaluar su comportamiento bajo diferentes condiciones. Se analizaron factores como variaciones de carga, ajustes de velocidad y estabilidad a lo largo del tiempo, con pruebas realizadas en distintos días de acuerdo con la Tabla 1.

Tabla 1. Días de trabajo del agitador orbital.

Número de Días de Trabajo	Carga Aplicada en Kilogramos	Revoluciones por minuto
7	1.3	120
7	1.3	240
7	1.8	120
7	1.8	240
7	2.2	120/240

Fuente: elaboración propia.

El agitador funcionó de manera estable y sin vibraciones ni perturbaciones durante los 28 días de operación con una carga que variaba entre 1.3 y 1.8 kg. Sin embargo, al incrementar la carga a 2.2 kg y mantener una velocidad de 240 r.p.m. se comenzaron a observar vibraciones en la bandeja. A pesar de reducir la carga a 2 kg, las vibraciones persistieron a menor medida.

Finalmente, al disminuir la carga a 1.8 kg, el movimiento orbital volvió a estabilizarse, eliminándose las vibraciones. Estos resultados evidencian que la capacidad de carga y velocidad son factores clave para garantizar la estabilidad operativa del agitador, lo que a su vez asegura la eficiencia y seguridad del proceso.

a) Funcionamiento del equipo

El agitador orbital está diseñado para operar con cualquier fuente de alimentación de 127 V, lo que facilita su uso en diferentes entornos. Una vez energizado, el usuario puede controlar la velocidad de

rotación mediante un potenciómetro, el cual permite un ajuste y aumenta progresivamente su velocidad hasta alcanzar el nivel deseado, garantizando un control óptimo del proceso de agitación.

Este equipo tiene la capacidad de alojar hasta nueve matraces Erlenmeyer de 125 ml, siempre que el peso total no supere los 1.8 kg, límite establecido para asegurar un funcionamiento estable y evitar sobre cargas en el sistema mecánico. Gracias a su diseño robusto y su control de velocidad ajustable, el agitador orbital es una herramienta esencial en los laboratorios que requiere una agitación uniforme.

RESULTADOS

Se diseñó y construyó un prototipo de agitador orbital (Figura 13), donde lo fundamental fue la construcción del sistema mecánico que se aparta de los diseños convencionales al emplear un número menor de piezas y de fácil acceso. Una de sus mayores ventajas de este diseño mecánico es el empleo de tornillería para el ensamble y desmontaje, lo que permite un mantenimiento básico ágil y accesible. Este sistema de fijación asegura que el equipo pueda ser desarmado y reparado fácilmente, sin necesidad de herramientas especializadas, lo que reduce los tiempos de inactividad. Además, la facilidad de realizar mantenimiento preventivo y correctivo contribuye a una mayor durabilidad y confiabilidad del agitador orbital.

El equipo funciona como una interfaz hombre-maquina, permitiendo al usuario controlar la velocidad dentro de un rango de 0 a 250 r.p.m. Este ajuste preciso de velocidad ofrece un control óptimo del proceso de agitación.



Figura 13. Agitador orbital.
Fuente: Elaboración propia.

La capacidad máxima recomendada de carga en el agitador es de 1.8 kg si se llega a utilizar en su máxima velocidad. Además, el diseño permite adaptar

bandejas de diferentes tamaños o formas, ya que se les puede instalar las bases con los baleros que se colocan en el eje excéntrico, lo que brinda facilidad para personalizar el equipo según las necesidades específicas que llegaran a surgir.

De acuerdo con las pruebas realizadas, el equipo se puede dejar trabajando por minutos, hora, días o semanas, mientras no sobre pase los límites de carga especificados. Esto se debe al diseño que emplea los tres ejes excéntricos, los cuales distribuyen la carga de manera equilibrada, reduciendo el estrés de cada elemento. Además, el motor eléctrico no presenta sobrecalentamientos, lo que garantiza durabilidad en altos periodos de operación del equipo.

En relación con el precio, se construyó un prototipo de bajo costo. Dentro del mercado comercial, un agitador orbital cuesta promedio de 8000 MXN, el costo del prototipo construido es alrededor de 3500 MXN, el ahorro proviene de la selección de materiales metálicos y utilizar un sistema electrónico que cuenta con piezas económicas. Además, que es más accesible la tornillería que la soldadura industrial.

El utilizar la carcasa reciclada contribuyó al ahorro y tiempo de construcción, pero es fundamental considerar que en algunos casos será necesario diseñar y fabricar la carcasa desde cero, lo que podría incrementar el precio estimado. Este aumento dependerá del tipo de material seleccionado, así como el proceso de fabricación que se vaya a utilizar, ya que esto tiene un impacto en el costo y tiempo requerido para su construcción.

CONCLUSIONES

El diseño y construcción se llevó a cabo a través de diferentes etapas técnicas, en las cuales se buscó tener el menor número de procesos de manufactura, y menor cantidad de materiales. Por sus propiedades de diseño, construcción y de funcionamiento únicas, no se encuentra un agitador orbital igual en el mercado comercial, lo cual es importante por tener un diferenciador de los comerciales, por ejemplo, se diseñó utilizando piezas de fácil acceso y económicas, lo que reduce su costo de fabricación y mantenimiento, así como la facilidad de ensamblaje, lo que permite un desmontaje rápido y sencillo. En cuanto al funcionamiento del equipo, se adapta para realizar experimentos donde el periodo de actividad sea de varios días. Al combinar el bajo costo, facilidad de mantenimiento y funcionamiento ininterrumpido, este agitador ofrece una solución accesible y adaptable. Lo que lo convierte en una alternativa atractiva en los laboratorios.

Los materiales que se utilizaron son de alta resistencia mecánica, minimizando el riesgo de fracturas o deformaciones en caso de golpes o caídas, esto ga-

rantiza una mayor durabilidad y estabilidad del equipo en el entorno en que se encuentre. Además, se minimizaron los componentes eléctricos y mecánicos que se distribuyeron a manera de protegerlos contra derrame de líquidos.

Por medio de la investigación realizada con el desarrollo del equipo, es recomendable seguir buscando innovaciones y mejoras que pueda tener, así como también el desarrollo de nuevos productos que puedan tener similitud al mismo principio de diseño.

El equipo al ser construido mayormente de metal es pesado, por lo cual se recomienda que se instale en un lugar solido que soporte su peso. Pero puede instalarse en espacios reducidos.

Por ser un equipo de laboratorio, se recomienda utilizar la mayor seguridad e higiene, así como precaución al utilizarse y maniobrar con él, en especial si está trabajando a su máxima capacidad y con velocidades elevadas.

BIBLIOGRAFÍA

[1] D. I. Calderón-Lamas. (2016). *Diseño de un agitador magnético cronometrado con control de temperatura y con alarma sonora y visual*. Facultad de ciencias e ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.

[2] F. I. Espinosa-Espin, G.L. Trávez-Padilla. (2016). *Diseño y construcción de un agitador orbital modular de doble bandeja para el laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales de la carrera de Ingeniería en Biotecnología*. Departamento de ciencias de la energía y mecánica, Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolquí, Ecuador.

[3] A. Espinosa-Bautista, A. Lara-Hernández, E. Plasencia-Díaz, J. Rojas-Monroy. (1989). *DISEÑO Y FABRICACION DE UN AGITADOR ORBITAL CON CAMARA DE TEMPERATURA CONTROLADA*. Facultad de ingeniería, Universidad Autónoma de México, Ciudad de México, México.

[4] D. M. Ballesteros. (2008). *MODULACIÓN PWM EN FPGA BASADO EN MÁQUINAS DE ESTADO FINITO*. *Scientia Et Technica*, vol. XIV, no. 38, pp. 421-426.

[5] D. Loza-Matovelle, M. Torres, M. Ruilova, L. Albán, R. Velasco, J. L. Segura, R. Dabirian. (2016). *Diseño y Construcción del Prototipo de Código Abierto de una Incubadora con Agitación Orbital*. *Revista Politécnica*, vol. 36, no. 3.

