

DESARROLLO DE UN BANCO MOTOR PARA LA PLANTA MOTRIZ DESERT AIRCRAFT DE 85 CM³

DEVELOPMENT OF A TESTING BENCH FOR A 85 CM³ DESERT AIRCRAFT POWER PLANT

1 Luisa Mónico,
2 Daniel Rojas,
3 Sebastián Cano

Recibido: 04-04-2019
Aceptado: 20-12-2019

Resumen

Un banco motor permite medir y registrar los parámetros de operación de los motores, es por esto que con el propósito de conocer el funcionamiento del motor de dos tiempos Desert Aircraft de 85 cm³, el cual es comúnmente empleado en vehículos aéreos no tripulados, nace la necesidad de desarrollar dicho dispositivo. El banco consta de una estructura en la que se acoplan una serie de elementos electrónicos y mecánicos que permiten medir y registrar parámetros como el régimen de giro, empuje, flujo de combustible y temperatura de aire en la admisión y de los gases de escape. Lo anterior, permite reforzar y afianzar los conocimientos en sistemas de propulsión de forma práctica y didáctica.

Palabras clave: motor a pistón, dos tiempos, ciclo Otto, banco de pruebas, parámetros de operación.

Abstract

A test bench allows measuring and recording the operating parameters of the engines. The need to develop such a device emerged in order to know the operation of the Desert Aircraft 85 cm³ two-stroke engine, which is commonly

- 1 Colombiana. PhD en Sistemas Propulsivos en Medios de Transporte; Universidad de San Buenaventura Bogotá; GRUPO: AEROTECH e-mail: Imonico@usbbog.edu.co
- 2 Colombiano. Ingeniero Aeronáutico; Universidad de San Buenaventura Bogotá; GRUPO: AEROTECH e-mail: dgrojas@academia.usbbog.edu.co
- 3 Colombiano. Ingeniero Aeronáutico; Universidad de San Buenaventura Bogotá; GRUPO: AEROTECH e-mail: scano@academia.usbbog.edu.co



used in unmanned aerial vehicles. The test bench has a structure where a serie of electronic and mechanical elements are coupled which allow measuring and recording parameters such as the rate of rotation, thrust, fuel flow and intake air temperature and exhaust gases. This development allows to strengthen knowledge in propulsion systems in a practical and didactic way.

Keywords: piston engine, two stroke, Otto cycle, test bench, operating parameters.

Introducción

Un banco de pruebas es un equipo conformado por diferentes componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos, que permiten simular las condiciones de operación de cualquier máquina y, a su vez, entrega información de los diferentes parámetros que se deseen medir.

Dentro de los trabajos encontrados relacionados con el diseño y construcción de estos elementos, específicamente para monitorear el comportamiento de motores de 2 tiempos, está el de Delpeuch (2007), quien diseñó y construyó un banco de pruebas para un motor mono cilíndrico Aprilia SR50R de 2 tiempos y 49 cm³, que operaba bajo el ciclo termodinámico Otto. Con el banco logró obtener y estudiar las curvas características del motor y los cambios en su comportamiento al variar la mezcla aire-combustible, instalar un nuevo colector de admisión y un sistema de inyección directa, razón por la que se modificó la culata del motor y se implementó un sistema de control electrónico. Ese mismo año, Casas y Barreto (2007), construyeron y diseñaron un banco de pruebas para motores Rotax 582 UL de 2 tiempos y dos cilindros, comúnmente utilizados en motos para nieve y homologados para ser empleados en aviación deportiva de la categoría ultraliviana.

Martos y Franco (2015), realizaron la caracterización de un motor alternativo de dos tiempos

Graupner G58 de 58 cm³ y 6.8 hp, para aplicaciones aeronáuticas, con el fin de estudiar la posibilidad de su implementación como planta propulsora de un UAV, realizando pruebas con varias hélices para determinar la más adecuada para la misión propuesta para dicha aeronave. De esta forma, fue posible comparar los datos de potencia y consumo específico de combustible brindados por el fabricante con los valores obtenidos durante las pruebas realizadas, teniendo en cuenta variables como la presión atmosférica, temperatura ambiente, posición de la palanca de gases, velocidad de giro y dosado (Martos & Franco, 2015).

Un año más tarde, docentes y estudiantes del programa de Ingeniería Aeronáutica de la Universidad de San Buenaventura sede Bogotá, desarrollaron el diseño de un banco de pruebas para caracterizar motores de combustión interna y eléctricos con un rango de potencia máxima de 55 hp o 6 kW, respectivamente, obteniendo como resultado el banco de pruebas USB Prony, el que, por medio de distintos sistemas y componentes, permite obtener las curvas características de este tipo de motores. Este banco de pruebas cuenta con un sistema de fricción, compuesto por un freno de disco acoplado a un bocín y una mordaza con accionamiento hidráulico; este tipo de bancos de prueba pueden llegar a ser imprecisos debido a la gran cantidad de piezas mecánicas y/o móviles que los componen, incrementando la complejidad, frecuencia y gastos económicos en procesos de mantenimiento (Mónico, Acosta, Bogotá, Guzman, & Casas, 2016).

Es por lo anterior, que el objetivo de este trabajo es desarrollar un banco motor que permita registrar parámetros operacionales del motor a pistón de dos tiempos Desert Aircraft de 85 cm³.

Metodología

Para desarrollar este proyecto, la metodología se ha dividido en 3 fases. La primera fase consiste

en recopilar información referente al desarrollo de bancos de prueba para motores de combustión interna alternativos de dos tiempos, esto con el fin de evaluar el proceso que se llevó a cabo en cada uno. Posteriormente, se diseñó y construyó una estructura en la que fuera posible instalar el motor Desert Aircraft de 85 cm³, sus componentes periféricos y elementos de medición encargados de adquirir la información de los parámetros de operación establecidos.

La segunda fase consistió en adquirir los elementos estructurales, electrónicos y mecánicos, establecidos de acuerdo a las necesidades. Luego, se procedió a implementar un sistema de adquisición de datos que permitiera almacenar, transmitir y mostrar los parámetros característicos del motor en una interfaz amigable con el usuario. Posteriormente, se realizó un análisis de seguridad teniendo en cuenta la distribución de todos los componentes ubicados en el banco de pruebas y en el área de trabajo, corrigiendo cualquier variable que afectara la seguridad de los individuos que se encuentran realizando pruebas al motor como a los mismos componentes del sistema del banco de pruebas.

En la última fase, se realizaron pruebas de funcionamiento a los elementos electrónicos y mecánicos.

Desarrollo del banco de pruebas

El banco de prueba USB, Propeller Engine Testing Bench, está compuesto por la estructura principal que sirve como soporte para todos los sistemas que contribuyen al funcionamiento del motor Desert Aircraft, como lo son el sistema de deslizamiento y de acople con el DA 85, y el sistema electrónico y de adquisición de datos. A continuación, se explican los detalles más significativos de cada uno de los sistemas y elementos anteriormente mencionados.

Estructura principal

Para el desarrollo de la estructura principal, se eligió un perfil ranurado de 35 x 35 mm Micro Pneumatic® de aleación de aluminio-magnesio-silicio, conocida como 6060 T5. Este tratamiento térmico contribuye a aumentar las propiedades mecánicas del material logrando una alta resistencia a las cargas tanto axiales como cortantes, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Propiedades mecánicas de la aleación de aluminio 6060 T5

Estado	T5
Carga de fractura (MPa)	220
Limite elástico (MPa)	185
Alargamiento a 5,65%	13
Limite a la fatiga (MPa)	160
Resistencia a la cizalladura (MPa)	140
Dureza Brinell	75
Módulo de Young (MPa)	70000

Fuente. (Adaptado de Mas, 2018).

Su geometría transversal (ver Figura 1), ayuda a que estos elementos estructurales sean aptos para soportar elevadas cargas mecánicas sin sufrir deformaciones considerables que afecten la integridad estructural.

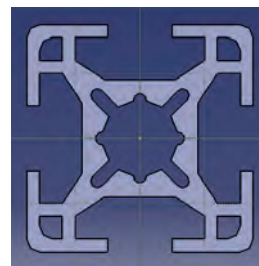


Figura 1. Vista de la sección transversal del perfil ranurado.

Se analizaron diferentes casos típicos de aplicación de cargas con el fin de demostrar la baja deformación que sufre esta sección del perfil. Para los cálculos, se asumió una longitud de 1 m.



Aplicando las fórmulas brindadas por el fabricante para este fin (Automatización, n.d.), donde se consideró un módulo de inercia torsional, que para el perfil de 35 x 35 mm es de 4.8 cm⁴ y una longitud del perfil de 100 cm para todos los casos. Se tomó una fuerza de 30 kg, ya que el motor, según el manual del fabricante, produce aproximadamente 20 kg de empuje, por lo que se busca con estos cálculos brindar una aproximación de la deformación que puede llegar a sufrir la estructura al aplicar dicha carga en una sola barra. Cabe aclarar que la carga se asumió de forma distribuida, por esto, se espera que esta deformación sea menor.

Los resultados comprobaron que este tipo de perfiles estructurales son ideales para la construcción del banco, debido a que la deformación que se puede llegar a presentar durante las pruebas es casi imperceptible, garantizando que el material no va a sufrir deformaciones permanentes o daños durante y después de las pruebas.

Estos perfiles estructurales ranurados son comúnmente empleados en el desarrollo de estructuras, bancos de trabajo, bastidores, líneas de producción, bases de maquinaria, bancos de prueba, entre otros, gracias a su versatilidad y buena relación resistencia peso; 1 m de una barra de 35 x 35 mm solamente pesa 1,137 kg, para un peso total de la estructura de 21,45 kg.

Adicionalmente, se caracterizan por la sencillez a la hora del ensamble, debido a que no es necesario hacer uso de soldadura o poseer habilidades excepcionales en el manejo de herramientas, lo que a mediano plazo puede resultar útil si se desea llevar a cabo alguna modificación al banco. Gracias a su particular geometría, el fabricante ha desarrollado un sistema de acople basado en una serie de conectores que constan de una unión en T y un esparrago roscado de 12 mm de diámetro, encargados de unir dos secciones como se presenta en la Figura 2 (Automatización, n.d.).

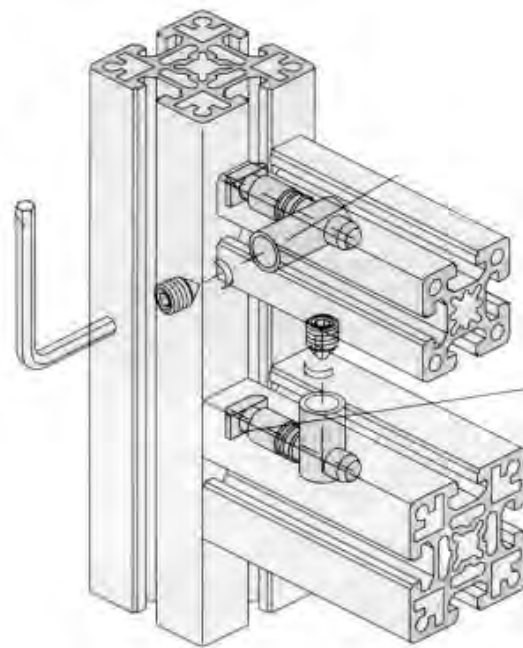


Figura 2. Sistema de unión entre dos perfiles ranurados

Fuente. (Adaptado de Automatización, s.f.).

Sistema de sujeción del motor a la estructura principal

El sistema de acople se construyó en dos piezas como se muestra en la Figura 3. La bancada, componente encargado de soportar el motor, se realizó en acero inoxidable calibre 7, esta se cortó a láser y, posteriormente, se dobló. La pieza encargada de soportar esta última y unirla a los rodamientos lineales se fabricó en cedro.

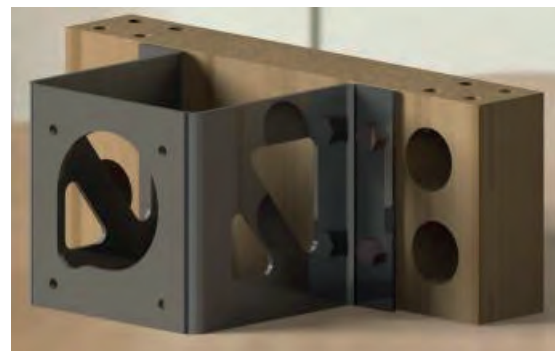


Figura 3. Sistema de sujeción del motor.

Fuente. Autor

En función de aislar el impacto del movimiento del motor transmitido a la estructura, se instalaron una serie de arandelas de goma, como se muestra en la Figura 4. De esta forma, se busca que la estructura principal del banco reciba la menor cantidad posible de perturbaciones causadas por el motor, que pueden ocasionar desajustes e incluso daño a este y los demás componentes periféricos que componen el banco.

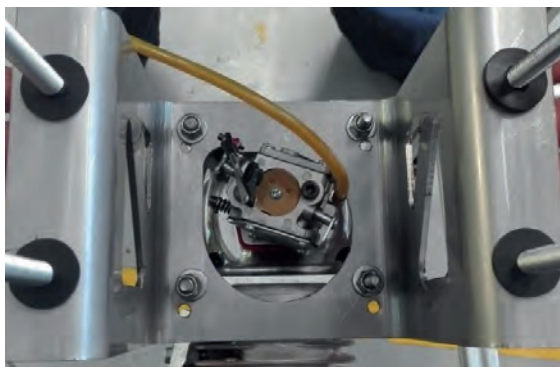


Figura 4. Aislantes de vibración instalados entre la bancada del motor y la pared de fuego.

Fuente: Elaboración propia

Bancada

Para fabricar la bancada, se utilizó una lámina de acero inoxidable, a la que se le realizaron una serie de cortes con láser con el fin de retirar material de la forma más precisa posible, reducir el peso de esta y permitir la entrada del carburador en el momento de acoplar el motor a este componente por medio del orificio central. Se realizaron una serie de dobleces, proceso que se llevó a cabo utilizando una prensa hidráulica con un punzón acoplado a esta y una matriz encargada de dar el ángulo y radio de doblez deseado.

El radio de curvatura de la lámina se puede determinar por medio de tablas estandarizadas como la que se muestra en la Tabla 2. En función del material a trabajar se establece que el radio de curvatura, en el caso del acero inoxidable, no debe exceder 5 veces el espesor (t) con el fin de evitar que el material se debilite, lo que puede

ocasionar la aparición de grietas y la posterior falla o ruptura del material (Castro, 2015).

Tabla 2. Radios de curvatura mínimos para realizar dobleces en láminas en función del material.

Material	Blando	Duro
Aleaciones de aluminio	0	6t
Cobre al berilio	0	4t
Latón, bajo plomo	0	2t
Magnesio	0	5t
Aceros inoxidables austeníticos	0.5t	5t
Aceros bajo carbono, baja aleación, y alta resistencia-baja aleación (HSLA)	0.5t	4t
Titanio	0.7t	3t
Aleaciones de Titanio	2.6t	4t

Fuente: Elaboración propia

Sistema de desplazamiento lineal

Para obtener la información respecto al empuje del motor se empleó una celda de carga piezo-resistiva de 50 kg ya que era capaz de soportar el empuje producido por el motor (aproximadamente 20 kgf). Se decidió utilizar un sistema compuesto por cuatro ejes de acero de 12 mm de diámetro (a), apoyados sobre un juego de dos soportes para cada uno (b) y cuatro rodamientos lineales de bola con casquillo cerrado (c), dispuestos en las esquinas superior e inferior del soporte de madera de cedro, cuyo acople se pudo llevar a cabo luego de fabricar un cilindro con roscado interno; su función es unir y asegurar los tornillos de los rodamientos con la madera. Este sistema, como se puede apreciar en la Figura 5, permite el desplazamiento lineal del motor, aproximadamente de 5 mm, partiendo desde un punto en el que no se ejerce carga alguna sobre el elemento de medición hasta un punto en el que el motor comprime el instrumento de medición en cuestión y esta, a la vez, transmite la lectura al sistema de adquisición de datos.



Este mecanismo es de simple instalación y, gracias a los rodamientos lineales de casquillo cerrado, la carga aplicada a estos se distribuye uniformemente, lo que permite que las bolas rueden sin dificultad, siempre y cuando estos se encuentren lubricados correctamente. En el

caso de los soportes del sistema de desplazamiento superiores, se fabricó una chapa en "C" con dobleces a 90°, cuya función es cubrir los perfiles verticales de la estructura, permitiendo establecer un elemento de unión resistente y fácil de ensamblar.

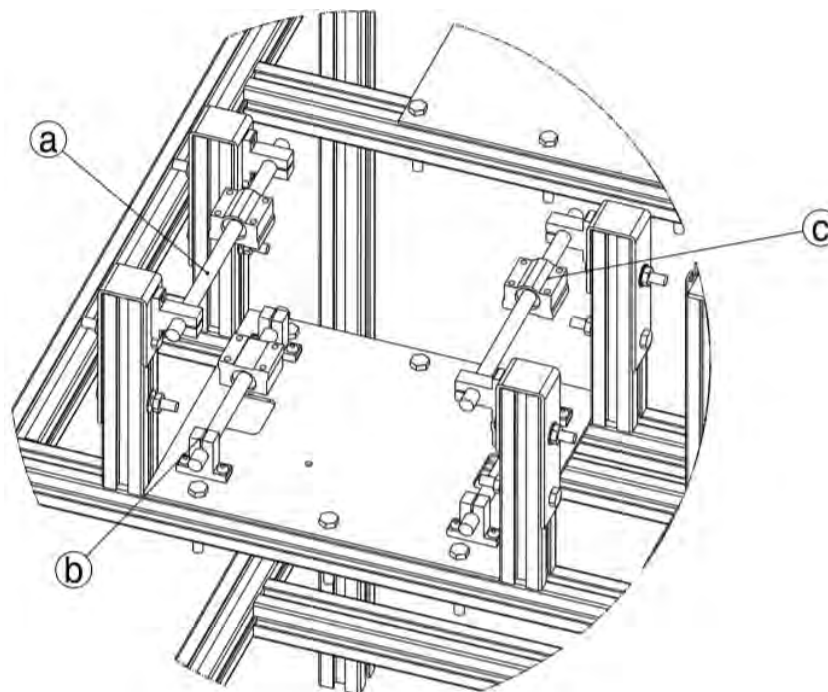


Figura 5. Sistema de desplazamiento lineal, (a) ejes, (b) soportes para ejes y (c) rodamientos lineales.

Fuente. Elaboración propia.

Rodamientos

Con el fin de soportar y permitir el deslizamiento lineal del motor, se instalaron rodamientos lineales estándar de casquillo cerrado de 12 mm de diámetro. Estos tienen la capacidad de absorber elevadas cargas tanto dinámicas como estáticas, lo que los hace ideales para la función que llevan a cabo en el banco motor. Estos se encuentran instalados sobre 4 ejes de acero-plata de 12 mm de diámetro, lo que evita que la resistencia al avance o fricción sea considerable. En la Tabla 3 se pueden apreciar las características de este tipo de rodamientos.

Tabla 3. Características de los rodamientos lineales de 12 mm de diámetro.

d (mm)	12
D (mm)	22
C (mm)	32
C1 (mm)	22,6
C2 (mm)	1,3
D1 (mm)	20,5
Hileras de bolas	4
Tolerancia	80
Carga dinámica (N)	480
Carga Estática (N)	400

Fuente: (Adaptado de Rextroth, 2015).

La aceleración y, por ende, la carga dinámica del conjunto motor-bancada se puede asumir como cero debido a que el sistema de desplazamiento lineal se diseñó con el fin de que este tenga una separación de máximo 4 cm antes de comenzar cada prueba, distancia suficiente para no afectar la lectura de la celda de carga antes de accionar el acelerador del motor. De esta forma, la carga estática esperada es de 38 N, por lo que este tipo de rodamientos es más que suficiente para ser empleados en el desarrollo del banco en cuestión. Por otra parte, de haber utilizado rodamientos de menos diámetro, aunque estos últimos sean capaces de soportar las cargas esperadas, el eje por el que realizarían su movimiento se habría pandeado, evitando un correcto deslizamiento del conjunto motor-bancada-pared de fuego. Con el fin de unir los rodamientos a la pared de fuego, se fabricaron 16 cojinetes con rosca interna, estos fueron insertados en la madera.

Sistema de alimentación de combustible

El tanque de combustible se instaló de modo que el conducto que conecta este último con el motor se encuentre a la misma altura del carburador, debido a que este tiene la capacidad de succionar el carburante. Para esto, se acopló una lámina de aluminio de 3 mm de espesor, cuya función es servir de elemento de unión entre el perfil de la estructura principal y la celda de carga de 5 kg, los que se encuentran aislados entre sí por medio de dos amortiguadores de goma encargados de reducir las vibraciones transmitidas por el motor hacia el sensor, debido a que si estas se presentan excesivamente la lectura del flujo de combustible se podría ver afectada por este fenómeno. Este tipo de sensores piezoresistivos se instalan aplicando una configuración similar a la de una balanza, como se puede apreciar en la Figura 6. Adicionalmente, se instaló una lámina, encargada de soportar el tanque de combustible sobre la celda en mención. Esta unión también se amortiguó con los mismos elementos mencionados anteriormente, que busca que el

tanque de combustible presente el menor movimiento posible.

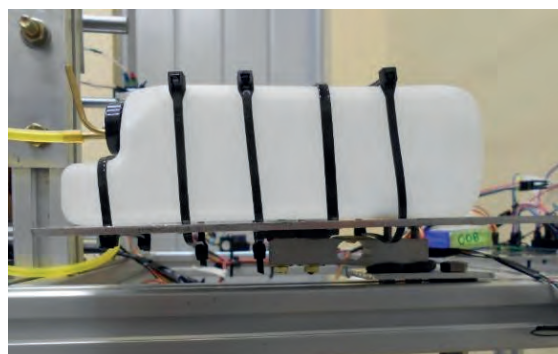


Figura 6. Montaje de la celda de carga de 5 kg tipo balanza para el tanque de combustible.

Fuente. Elaboración propia

Contrapeso

Para el buen funcionamiento del banco, fue necesario aplicar una masa o lastre que permita contrarrestar el empuje que ejerce el motor durante su funcionamiento. Para esto, se realizaron una serie de cálculos que permitieron determinar el contrapeso necesario para evitar que la estructura sea derribada, teniendo en cuenta el peso de los componentes, mostrados en la Tabla 4.

Tabla 4. Peso de los componentes del banco.

COMPONENTE	Peso (kg)
Estructura	18,07
Motor, bancada, hélice de tres palas y pared de fuego (Wm)	3,36
Placa con componentes electrónicos y batería (We)	1,12
Tanque de combustible (Wt)	0,45
Rodamientos, lamina, soportes y ejes	0,3
Banco completo	22,45

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 7, se pueden observar las cargas aplicadas al banco motor con sus respectivas



distancias respecto a los puntos A y B, los cuales fueron empleados como puntos de referencia para realizar la sumatoria de momentos que per-

mite obtener el valor del contrapeso necesario para mantener la estructura en su lugar, evitando una rotación respecto al punto A.

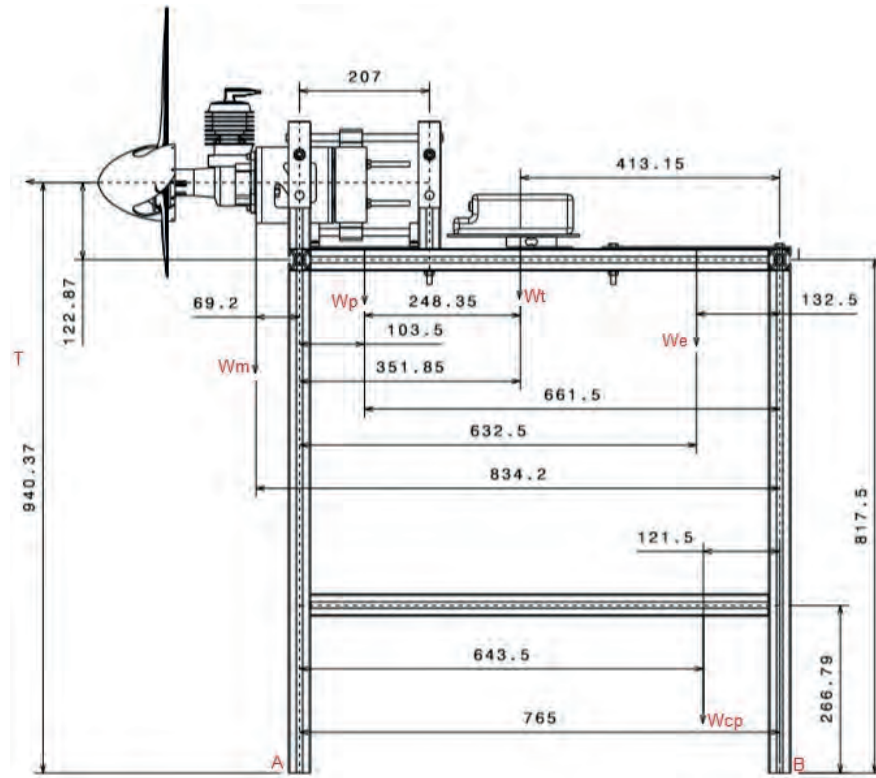


Figura 7. Distribución esquemática de cargas aplicadas al banco.
Fuente. Elaboración propia.

Como resultado, se obtiene que el contrapeso necesario para mantener la estructura en equilibrio es de 238.725 N o 24.33 kg, y considerando un factor de seguridad de 2, dando como resultado 48.66 kg, es decir, aproximadamente 50 kg. De esta forma, se reducirá considerablemente la posibilidad de desplazamiento o volcamiento que pueda presentarse en el banco con el motor en operación. Finalmente, se obtienen las reacciones en los apoyos, dando como resultado 309.1569 N y 457.4992 N para el apoyo A y B, respectivamente.

Cabe resaltar que debido a que el banco estará estático y únicamente el motor realizara su mo-

vimiento horizontal en una distancia mínima suficiente para dar lectura al sensor y sus apoyos serán las 4 columnas del banco, el desplazamiento de este se puede ignorar si se le aplica la masa citada.

El esfuerzo será mayor hacia la parte trasera del banco, por lo que esta masa podrá contrarrestar el brazo que realiza el motor por su ubicación y, adicionalmente, reduce la posibilidad de un desplazamiento no deseado del conjunto, debido al empuje que pueda producir el motor en funcionamiento. Luego de realizar este análisis, se concluye que una masa estimada esta entre los 50 y 55 kg.

Sistema de adquisición de datos

El sistema de adquisición de datos está compuesto por dos celdas de carga, cuya capacidad de medición es de 5 kg y 50 kg, empleadas para obtener valores de flujo de combustible y empuje, respectivamente, y dos termocupas tipo K, encargados de obtener los valores de temperatura del aire de entrada y gases de escape, y un encoder de efecto Hall, cuya función es brindar información sobre el régimen de operación del motor. Los instrumentos mencionados anteriormente, son fabricados para ser utilizados directamente a Arduino, sin necesidad de realizar modificaciones, por lo que su adaptabilidad es muy práctica en ese sistema; estos fueron conectados a una Protoboard empleada para ampliar el número de conexiones. En este caso, la tarjeta Arduino cuenta con una salida de 5 voltios (VCC) y 3 conexiones a tierra (GND), que permite que las pruebas a realizar sean más didácticas.

Mecanismo de variación de empuje.

Para variar el empuje del motor, se instaló un servomotor de 6.4 kg de capacidad, cuya función es variar el throttle o acelerador del motor de forma remota, buscando que las pruebas se lleven a cabo de forma segura. Este servomotor se conectó a un receptor de 9 canales alimentado por una batería de 5 voltios y enlazado a un radiocontrol Aurora 9. Dicho receptor tiene como función tomar la señal proveniente del mando y transmitirla al servomotor mencionado anteriormente, cuya función es variar la cantidad de aire que entra al carburador.

Sistema de parada de emergencia

Teniendo en cuenta que la operación de un dispositivo que utiliza combustible durante su operación está sometida a un porcentaje de riesgo, ya sea de una posible falla de alguno de los componentes mecánicos que hagan parte del conjunto o algún incidente causado por el

combustible, es necesaria la implementación de un dispositivo que permita la parada de emergencia del banco, manteniendo así la seguridad de quien lo utiliza. Para suplir esta necesidad se han implementado dos sistemas:

- Un sistema de corte de combustible, que utiliza el flujo de combustible que va desde el tanque hacia el carburador del motor y se corta por medio de estrangulamiento de la manguera de combustible. Para cumplir con esto, se elaboró una caja por la que se inserta parte de la manguera de alimentación de combustible y un mecanismo de cuña, cuya función es presionar la manguera, cortando el fluido de combustible hacia el motor, causando el apagado del motor por la falta de este.
- Un botón de pánico que se encarga de cortar el flujo eléctrico del sistema de ignición, provocando el apagado inmediato del motor. Este botón fue conectado al polo positivo de la batería de 7.4 voltios, que se encarga de alimentar dicho sistema, mientras que el polo negativo se conectó directamente al módulo de control de encendido de la bujía del motor.

Producto final

Como resultado final, se obtuvo el banco mostrado en la Figura 8. Esta herramienta permite comprender el principio de funcionamiento de un motor de dos tiempos, como lo es el Desert Aircraft de 85 cm³. En esta estructura, se encuentran instalados los diferentes elementos necesarios para el correcto funcionamiento del motor, su sistema de desplazamiento lineal, que al tener un mínimo movimiento antes de entrar en contacto con la celda de carga, permite adquirir la lectura de empuje producido por el este, y los instrumentos de medición necesarios para analizar los datos de temperatura de aire de entrada, temperatura de gases de escape, régimen de operación, empuje y flujo de combustible.



Figura 8. Banco de Pruebas.
Fuente. Elaboración propia.

Conclusiones

El sistema de desplazamiento lineal fue diseñado y construido pensando en motores que emplean una hélice durante su funcionamiento; este ofrece varias posibilidades de instalación, no solo celdas de carga, sino otros componentes como dinamómetros, que pueden llegar a entregar mediciones más acertadas de empuje.

El empleo de madera es una buena opción si se busca disminuir las vibraciones generadas y transmitidas por el motor a la estructura y los sistemas que la componen.

La utilización de los perfiles estructurales ranurados da como resultado una estructura liviana y fácil de ensamblar, ofreciendo gran resistencia mecánica y evitando la utilización de materiales y perfiles convencionales para conseguir un

banco ligero y eficiente. La utilización de estos perfiles permite futuros desarrollos empleando la estructura existente, debido a que sus piezas se pueden acoplar fácilmente, y con esto es posible adaptar otras plantas motrices y/o componentes electrónicos de medición más precisos y confiables.

Los componentes del sistema de adquisición de datos pueden configurarse utilizando la plataforma de código abierto Arduino, lo que quiere decir que para su configuración y operación no se requiere de la adquisición de una licencia para poder manipular dicho software; además, permite implementar a futuro otro tipo de sensores. Con el sistema de adquisición de datos implementado en el banco, es posible tener una lectura de los parámetros básicos de operación del motor, siendo capaz de almacenar y graficar dicha información en tiempo real. Esto permite monitorear el motor de forma instantánea, brindando la oportunidad de detectar oportunamente alguna falla que se pueda presentar durante su funcionamiento y, según el caso, suspender la prueba gracias a uno de los dos sistemas de parada de emergencia implementados.

Referencias

- Automatización, M. (n. d.). Sistemas Estructurales.
- Castro, L. F. (2015). Condiciones Técnicas para un Correcto Doblado. Retrieved May 5, 2018, from <http://www.metalactual.com/revista/15/doblado.pdf>
- Delpuech, Y. (2007). Diseño y Montaje de una Instalación de Pruebas para un MCIA de 2 Tiempos. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Martos, Juan; Franco, Antonio (2015). Caracterización de un motor alternativo para aplicaciones aeronáuticas. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Dep. Ingeniería Aeroespacial. Universidad de Sevilla-España.
- Mas, A. (2018). Propiedades Mecánicas de la Aleación de Aluminio 6060. Retrieved November 21, 2018,

from http://www.alacermas.com/img/galeria/files/aluminio/chapa_6060_aluminio.pdf

Monico, L., Acosta, H., Bogotá, M., Guzman, S. & Casas, C. (2016). Diseño de un banco de pruebas para caracterizar motores de combustión interna y eléctricos. Revista Actas de Ingeniería, 2, 194–202.

Rextroth. (2015). Sistemas de guiado con rodamientos lineales. Retrieved November 21, 2018, from <http://www.lineartec.com.ar/catalogos/7RodamientosLinealesBosch.pdf>