

RAE

1. TIPO DE DOCUMENTO: Trabajo de grado para optar por el título de ingeniero aeronáutico.

2. TITULO: Actualización Del Banco De Pruebas Del Desert Aircraft De 85cc y Generación De Guías De Laboratorio

3. AUTORES: David Caycedo, Oscar Escandón & Calos Gómez

4. LUGAR: Bogotá D.C.

5. FECHA: 09 de septiembre de 2019

6. PALABRAS CLAVE: Banco de pruebas, Motor, Combustión, Bosch, Adquisición, Datos, Conexión, Adecuación, Bancada, Dos tiempos.

7. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO: El objetivo de este proyecto es la actualización del banco de pruebas para un motor de dos tiempos, el cual permita la adquisición de diferentes parámetros de operación del motor Desert Aircraft de 85 centímetros cúbicos, para lo cual se desarrollaron mejoras estructurales que permitieron un aumento de la estabilidad del mismo y una actualización del sistema de adquisición de datos.

8. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Este proyecto pertenece a la línea de investigación de Energía y Propulsión de la Facultad de Ingeniería.

9. METODOLOGÍA: Es de carácter empírico - analítico, con un enfoque metodológico con base en la actualización de un banco de pruebas de un motor de combustión alternativa de dos tiempos.

10. CONCLUSIONES:

- La construcción del banco de pruebas con los perfiles estructurales ranurados permite como producto una estructura liviana, ofreciendo una alta resistencia capaz de soportar las vibraciones y cargas cíclicas emitidas por el motor, así mismo el material de la perfilería es capaz de soportar los diferentes fluidos arrojados por el motor, como es la gasolina y el aceite quemado, evitando cualquier tipo de corrosión.
- Al eliminar el sistema de desplazamiento anteriormente diseñado e instalado previamente en el banco de pruebas, se pudo implementar un nuevo método de sujeción para el motor al banco, eliminando las altas vibraciones producidas por los rieles.
- Después de realizar la evaluación estructural en la primera fase planteada anteriormente, se concluye que al instalar el lastre con el fin de aumentar la estabilidad del banco.
- Se determinó que la implementación del Eagle Tree como sistema electrónico de adquisición de datos, permitió la utilización e implementación de un software más amable con el usuario, siendo este el óptimo entre los diferentes programas disponibles para la visualización, adquisición y análisis de datos.
- Se puede concluir que, con la utilización de elastómeros en las diferentes sujeciones, permiten la disipación de cargas cíclicas producidas por el motor, evitando también las vibraciones en los sensores.
- Gracias al desarrollo de las guías de laboratorio, el estudiante tendrá un mejor afianzamiento de conocimientos de la materia Motores a pistón, lo que permitirá un aprendizaje de manera didáctica y práctica.

ACTUALIZACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS DEL DESERT AIRCRAFT DE 85CC ii
Y GENERACION DE GUIAS DE LABORATORIO

DAVID RICARDO CAYCEDO DAJUD

OSCAR FERNANDO ESCANDON RUIZ

CARLOS ANDRES GOMEZ HERNANDEZ

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA, SEDE BOGOTÁ.

FACULTAD DE INGENIERÍA.

INGENIERÍA AERONÁUTICA

Bogotá, Colombia.

2019

ACTUALIZACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS DEL DESERT AIRCRAFT DE 85CC iii
Y GENERACION DE GUIAS DE LABORATORIO

DAVID RICARDO CAYCEDO DAJUD

OSCAR FERNANDO ESCANDON RUIZ

CARLOS ANDRES GOMEZ HERNANDEZ

Proyecto de grado para optar por el título de Ingeniero Aeronáutico

Asesores

PhD. MSc. Ing. Luísa Fernanda Mónico Muñoz

MSc. Ing. Rubén Darío Salazar Buitrago

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA, SEDE BOGOTÁ.

FACULTAD DE INGENIERÍA.

INGENIERÍA AERONÁUTICA

Bogotá, Colombia.

2019

Agradecimiento

iv

El presente trabajo se lo agradecemos al Programa de Ingeniería Aeronáutica, a los profesores y diferentes personas involucradas durante el proceso de nuestra formación académica, en especial al Ingeniero Rubén Darío Salazar Buitrago y la ingeniera Luisa Fernanda Mónico Muñoz, quienes con su dedicación y sabiduría nos permitieron adquirir todos los conocimientos y capacidades que se ven reflejadas en nuestra investigación para culminar nuestro pregrado para convertirnos en Ingenieros Aeronáuticos. Le agradecemos a nuestras familias que nos alentaron y acompañaron siempre con su apoyo incondicional y que con su esfuerzo nos permiten hoy cumplir un sueño más.

| | |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 3 |
| 1.1. Antecedentes | 3 |
| 1.2. Descripción y Formulación del Problema de Investigación. | 8 |
| 1.3. Justificación. | 9 |
| 1.4. Objetivos de la investigación. | 10 |
| 1.4.1. Objetivos General. | 10 |
| 1.4.2. Objetivos Específicos..... | 10 |
| 1.5. Alcances y Limitaciones. | 10 |
| 1.5.1. Alcances..... | 10 |
| 1.5.2. Limitaciones..... | 11 |
| 2. MARCO DE REFERENCIA..... | 12 |
| 2.1. Marco Teórico – Conceptual | 12 |
| 2.2. Marco Legal o Normativo..... | 22 |
| 3. METODOLOGÍA..... | 24 |

| | |
|---|------|
| 4. DESARROLLO INGENIERIL | 30vi |
| 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS | 64 |
| 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 74 |
| REFERENCIAS..... | 77 |

Lista de tablas

vii

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Antecedentes de bancos de pruebas en la Universidad de San Buenaventura..... | 7 |
| Tabla 2 Normas Aplicables..... | 23 |
| Tabla 3 Descripción de sensores respecto a su ubicación..... | 51 |

Figura 1 Banco de pruebas UPB (Castellanos, Hernandez Rueda, & Portillo Ortega, 2011) 5

Figura 2 Banco de pruebas Universidad del Atlántico (Narváz Pallares, Villareal Acosta, Duarte Forero, & Rincón Montenegro, 2017) 6

Figura 3 USB Propeller Testing Bench (Rojas Mora, Cano Bernal, & Mónico Muñoz, 2018)..... 8

Figura 4 Diagrama Presión Vs. Volumen, Diagrama Temperatura Vs. Entropía, Ciclo Otto (Cengel, Termodinamica, 2015) 15

Figura 5 Ciclo Otto en un motor de dos tiempos (E-ducativa, 2015) 17

Figura 6 Motor de 2 tiempos vs. Motor de 4 tiempos (CARMAN, 2016) 18

Figura 7 Sensor Óptico Difusor-Reflectivo (Mecafenix, s.f.) 20

Figura 8 Airspeed Micro Sensor (Airspeed Microsensor V3, s.f.) 21

Figura 9 Motor Loop Temperature Sensor 22

Figura 10 Micro Temp Sensor 22

Figura 11. Fase1 de la metodología 26

Figura 12. Segunda fase de la metodología 27

Figura 13. Tercera fase de la metodología..... 28

| | |
|--|------|
| Figura 14. Fase final de la metodología..... | 29ix |
| Figura 15 Sujeción del motor a la bancada..... | 30 |
| Figura 16 Montaje del motor en bancada de pruebas por medio de junta pernada con utilización de arandelas..... | 31 |
| Figura 17 Escape instalado en el motor. | 32 |
| Figura 18 Balanceo de la hélice | 34 |
| Figura 19 Helice 24x12 de Fibra de carbono..... | 36 |
| Figura 20 Apertura agujeros hélice Biela 24x12A | 36 |
| Figura 21Moldes para realización del spinner | 37 |
| Figura 22 Spinner sin agujeros | 38 |
| Figura 23Perforación del disco del spinner | 38 |
| Figura 24 Perfil de corte spinner..... | 39 |
| Figura 25 Balanceo del conjunto disco-spinner..... | 40 |
| Figura 26 Exosto..... | 41 |
| Figura 27 Limpieza del carburador..... | 42 |
| Figura 28 Motor instalado para prueba de estructura. | 44 |
| Figura 29 Deposito del lastre | 45 |

| | |
|---|-----------|
| Figura 30 Nueva bancada de Zapan..... | 47x |
| Figura 31 Elastómeros en uniones pernadas..... | 48 |
| Figura 32 Elogger V4..... | 48 |
| Figura 33 Parales para instalación de sensores..... | 49 |
| Figura 34 Sujeción de sensores..... | 49 |
| Figura 35 Sensor de velocidad del aire instalado en el banco..... | 50 |
| Figura 36 Ubicación de los sensores en el banco de pruebas..... | 51 |
| Figura 37 Configuración del software Data Recorder..... | 52 |
| Figura 38 Archivo .FDR arrojado por Data Recorder..... | 53 |
| <i>Figura 39 Generación de la macro en Visual Basic.....</i> | <i>53</i> |
| Figura 40 Datos Organizados..... | 54 |
| Figura 41 grafica de eficiencia para aletas rectangulares (Cengel, transferencia de calor y masa, 2007)..... | 57 |
| Figura 42 Corte ángulo..... | 59 |
| Figura 43 Unión de los ángulos..... | 60 |
| Figura 44 Agujero Arrancador..... | 61 |
| Figura 45. Jaula de seguridad sin puertas..... | 61 |

| | |
|--|-----------|
| Figura 46 Instalación de puertas | 62xi |
| Figura 47 Instalación de las ruedas | 62 |
| Figura 48 Barras de Seguridad..... | 63 |
| Figura 49 Hélice descartada..... | 65 |
| Figura 50 Spinner pusher | 66 |
| Figura 51 Hélice y spinner nuevos..... | 66 |
| Figura 52 Remoción de Rieles | 68 |
| Figura 53 Régimen de Giro vs Potencia | 69 |
| <i>Figura 54 Régimen de Giro vs EGT</i> | <i>70</i> |
| <i>Figura 55 RPM vs Temperatura de entrada.....</i> | <i>71</i> |
| <i>Figura 56 RPM vs Temperatura de camara de combustion.....</i> | <i>72</i> |
| <i>Figura 57 Jaula de seguridad.....</i> | <i>72</i> |

INTRODUCCIÓN

A través de la historia, el desarrollo de mecanismos diagnósticos para determinar el estado de los motores de combustión interna ha sido esenciales para el crecimiento y el desarrollo de la industria aeronáutica. El estudio de las plantas motrices en bancos de pruebas es fundamental para la formación de un ingeniero aeronáutico ya que con este se pueden afianzar conocimientos en ámbitos tales como termodinámica, dinámica de fluidos, transferencia de calor, entre otros saberes. Durante el desarrollo de estos equipos es importante tener en cuenta el funcionamiento de componentes esenciales como lo son la planta motriz por estudiar y los sensores necesarios para el registro de datos deseados.

En Colombia diferentes instituciones educativas de nivel superior han desarrollado diferentes bancos de pruebas para motores de combustión interna alternativos, entre estos se pueden destacar los trabajos realizados en la Universidad Pontificia Bolivariana en su sede seccional de Bucaramanga y en la Universidad del Atlántico, no obstante, estos proyectos están enfocados hacia el ámbito automotriz y no dan una clara consolidación de conocimientos en el ámbito aeronáutico.

En la Universidad de San Buenaventura sede Bogotá, a través de los 21 años que tiene el programa de Ingeniería Aeronáutica se han desarrollado más de 25 proyectos relacionados con sistemas de propulsión de aeronaves donde se han podido afianzar los conocimientos de los estudiantes, entre estos proyectos se destacan 5 trabajos relacionados con bancos de pruebas de motores. Sin embargo, no se ha logrado consolidar un proyecto

en donde se desarrolle un material totalmente didáctico que responda a las necesidades del programa, por lo tanto, se plantea el desarrollo de un banco de pruebas para el motor aeronáutico de pistón de 2 tiempos Desert Aircraft con un cilindraje de 85 centímetros cúbicos, cuyo propósito principal sea sensar por lo menos dos parámetros de esta planta motriz en tiempo real de tal manera que se logre desarrollar guías de laboratorio que sean afines al currículo de la materia motores a pistón y sus materias contiguas.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

En la formación de ingenieros es fundamental el estudio de las plantas motrices y para ello una buena manera de hacerlo de forma didáctica son los bancos de pruebas ya que se considera este como la unión entre maquinaria, instrumentación e infraestructura con el fin de efectuar diversas mediciones experimentales.

La industria y los centros de educación superior se ven motivados a desarrollar o adquirir bancos de pruebas con el propósito de hacer análisis investigativo a las plantas motrices de combustión interna alternativos. Dé tal manera que se puedan realizar análisis de los diferentes parámetros que el motor pueda entregar, esto se logra modificando diferentes variables de operación de este (Narvárez Pallares, Villareal Acosta, Duarte Forero, & Rincón Montenegro, 2017).

Se han realizado bancos de pruebas cuyo fin ha sido validar mediante métodos experimentales un modelo termodinámico en donde se predice la temperatura en el punto de combustión de motores sobrealimentados que operan con combustibles gaseosos, y donde se analizan diferentes estrategias de control para incrementar el rango de aplicación de combustibles con baja cantidad de metano. (Duarte, y otros, 2014).

También se han desarrollado bancos de pruebas en donde el objetivo es la medición de la presión durante el proceso de combustión y de parámetros de operación del motor, de tal manera que mediante modelos matemáticos se pueda representar los ciclos

termodinámicos por medio de gráficas. En estas, se logró ver el comportamiento real y así lograr hacer una comparación entre lo experimental y lo modelado (Payri, Olmeda, Martín, & García, 2011).

En Colombia diversos institutos de educación superior han implementado y/o construido bancos de pruebas de plantas motrices para la formación de sus estudiantes y también para lograr avances investigativos respecto al tema, entre estas instituciones educativas se pueden resaltar la Universidad Pontificia Bolivariana en su sede de Bucaramanga, en donde se ha desarrollado un banco de pruebas con la capacidad de medir el consumo de aire, consumo de combustible, junto con un sistema de medición de velocidad del motor, medición de torque y contador de revoluciones. (Castellanos, Hernandez Rueda, & Portillo Ortega, 2011) Este banco de pruebas ha tomado como referencias los estándares internacionales de normas SAE J13-49 y SAE J13-12 para la construcción del banco de pruebas para motores a combustión interna, relacionando también procedimientos para obtención de gráficos de desempeño de los motores, encendido por chispa y encendido por compresión de la referencia SAE J15-26.

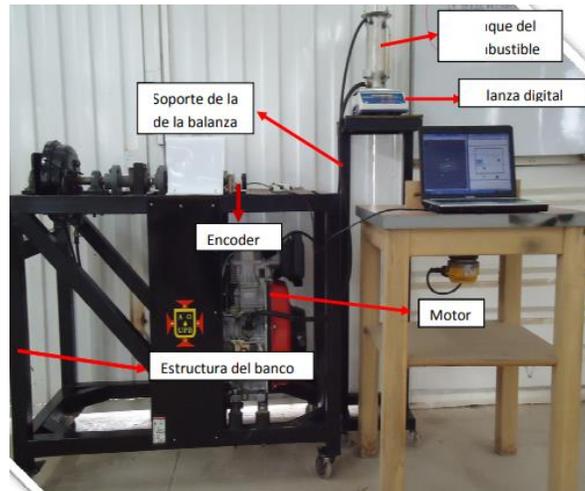


Figura 1 Banco de pruebas UPB (Castellanos, Hernandez Rueda, & Portillo Ortega, 2011)

Otro banco de pruebas a resaltar es el banco construido en la Universidad del Atlántico en Barranquilla donde desde criterios ergonómicos desarrollaron un banco de pruebas capaz de analizar un motor Diésel de cuatro tiempos mono cilíndrico de 299 centímetros cúbicos. Este banco motor está diseñado para realizar pruebas para la obtención de potencia y par neto bajo la metodología propuesta en la norma SAE J1349, este banco también es capaz de medir el flujo de combustible usando el método volumétrico. Cabe resaltar que todos estos parámetros son medidos y analizados en función del régimen de giro. (Narváz Pallares, Villareal Acosta, Duarte Forero, & Rincón Montenegro, 2017)



Figura 2 Banco de pruebas Universidad del Atlántico (Narváez Pallares, Villareal Acosta, Duarte Forero, & Rincón Montenegro, 2017)

La Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito cuenta con un banco motor para el estudio de motores de combustión interna alternativos, *banco de pruebas de motores*, el cual cuenta con la capacidad de obtener datos característicos de máquinas entre 70 y 300 caballos de fuerza gracias a que cuenta con un freno hidráulico que permite sensar un régimen de giro máximo de 10.000 revoluciones por minuto. Para el uso de este banco la institución cuenta con dos plantas motrices (Ciclo Otto y ciclo Diesel) de generación eléctrica, las cuales brindan información con la cual se logra hallar el ciclo termodinámico de cada una a diferentes regímenes de giro (Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2019)

Por su parte, la Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá, ha venido desarrollando diferentes proyectos en el área de sistemas de propulsión entre los cuales se pueden registrar más de 25 proyectos de grado de los cuales se pueden destacar los siguientes ya que se han enfocado en el desarrollo de bancos de pruebas.

Tabla 1 Antecedentes de bancos de pruebas en la Universidad de San Buenaventura

| Título |
|---|
| Diseño y construcción de un Banco de pruebas para turbo cargadores, accionados por medio de una cámara de combustión (Alzate Pardo & Vargas Moreno, 2004) |
| Sistema de adquisición de datos de un Banco de prueba de motores a reacción para la empresa Aero-Industrias Leaver & Cia S. A (Sánchez Prieto & Cifuentes Vecino, 2007) |
| Diseño detallado de un banco de pruebas para las boquillas de inyección de combustible de las series del motor P W -100 (Villanueva Alzate & Pérez Quiñones, 2007) |
| Diseño conceptual de un banco de pruebas para su GTCP 85-98 de aviones Mc Donnell Douglas Serie 83 (Cortes & Puentes Rincón, 2008) |
| Diseño de un banco de pruebas para motores PTGT-3 (Ferreira Garzón, Jurado Ballesteros, & Ayala Gonzalez, 2008) |
| Diseño de un sistema de medición digital, para los orificios presentes en los motores de aviación Lycoming y Continental (Penagos Quintero & González Torres, 2010) |
| Diseño de un banco de pruebas para el motor de pistón ciclo otto de cuatro tiempos amc 200 (García Rojas & Escobar Garzón, 2010) |
| Puesta en funcionamiento y elaboración de procedimientos del banco turbo jet desarrollado por la Universidad de San Buenaventura. (Escobar Garzón, Araujo Morán, & Otálora, 2011) |
| Diseño y simulación de banco de pruebas de inyectores diésel para vehículos de carga pesada (Garzón Torres, Ramírez Rincón, & Martínez Henao, 2013) |
| Diseño de un banco de pruebas para un motor de combustión interna no mayor a 120 hp (León Marroquín, Quintero Núñez, & Venegas Pereira, 2015) |
| Diseño y construcción de un banco motor para una planta motriz Desert Aircraft de 85 cm ³ (Rojas Mora, Cano Bernal, & Mónico Muñoz, 2018) |

Sin embargo, no se había logrado consolidar un banco de pruebas para motores de combustión interna de dos tiempos y es por eso por lo que se planteó el diseño y

construcción de un banco motor para una planta motriz Desert Aircraft de 85 cm el cual se puede ver en la Figura 1. El banco desarrollado, es capaz de tomar mediciones de temperatura a la entrada y salida de la cámara de combustión, consumo de combustible, régimen de giro y el empuje producido (Rojas Mora, Cano Bernal, & Mónico Muñoz, 2018)



Figura 3 USB Propeller Testing Bench (Rojas Mora, Cano Bernal, & Mónico Muñoz, 2018)

1.2. Descripción y Formulación del Problema de Investigación.

Se pretende actualizar y mejorar el USB Propeller Engine Testing Bench. El fin de esta actualización es brindar a la Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá una herramienta física que sea capaz de hacer la caracterización de un motor de combustión interna alternativo de dos tiempos, de tal manera que muestre a los estudiantes parámetros de operación en tiempo real durante todo su ciclo de operación, evidenciando así los datos

mediante una interfaz gráfica que permita visualizar los parámetros obtenidos por los diferentes sensores.

Es por eso por lo que se plantea la siguiente pregunta, ¿Cómo actualizar y generar las guías de laboratorio para el banco de pruebas del Desert Aircraft 85 cc?

1.3. Justificación.

Actualmente la Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá, no cuenta con un material didáctico y operativo que ayude a los estudiantes de ingeniería aeronáutica a afianzar sus conocimientos sobre motores de combustión interna alternativos de dos tiempos los cuales son adquiridos en la materia de motores a pistón. Es por esta razón que se plantea la actualización de un banco de pruebas en el cual se pueda realizar investigación a la planta motriz de aviación Desert Aircraft de 85 cc. Este motor funciona bajo el ciclo Otto de 2 tiempos. De tal manera que con los datos obtenidos de esta planta motriz en el banco-motor se logren generar guías de laboratorio para que mediante la experimentación los estudiantes obtengan las aptitudes de los diferentes métodos de investigación científica, así mismo logren ampliar, profundizar y consolidar los fundamentos teóricos de la materia mediante procesos de aplicación de estos con el fin de garantizar el trabajo individual o en grupo según sea el caso durante la ejecución de la práctica.

1.4. Objetivos de la investigación.

1.4.1. Objetivos General.

Actualizar el banco de pruebas del Desert Aircraft de 85cc y generar sus guías de laboratorio.

1.4.2. Objetivos Específicos.

- Poner en funcionamiento el banco de pruebas y planta motriz-hélice.
- Establecer y medir las variables para la generación de las guías de laboratorio.

1.5. Alcances y Limitaciones.

1.5.1. Alcances.

- Asegurar el correcto funcionamiento de banco-motor junto con todos sus elementos.
- Medir por lo menos, dos variables para la generación de las guías de laboratorio.
- Redacción de un artículo publicable según resultados de la investigación.
- Se implementará un sistema de adquisición de datos que muestre los datos obtenidos por los sensores.
- Se actualizarán los manuales de operación y mantenimiento del banco de pruebas para el motor Desert Aircraft 85 cc.
- Al menos uno de los parámetros medidos será verificado

1.5.2. Limitaciones.

- No se realizará el análisis de las vibraciones que se puedan generar sobre el banco de pruebas actualmente construido y sobre los sensores actualmente instalados.
- No se realizarán validaciones estructurales por FEA.
- El banco estará centrado únicamente en el motor Desert Aircraft 85 cc.
- No se realizará un estudio de ergonomía.
- La creación del software y hardware será exclusivamente para la medición del motor Desert Aircraft de 85 cc.
- No se realizará ningún análisis del balanceo de las hélices, solo se realizará el balanceo inicial de la hélice para su implementación.
- Se utilizará la hélice entregada por la Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá.
- Se realizará el ajuste de mínimas y máximas revoluciones del motor de manera manual.
- El encendido del motor se realizará de manera manual.

2. MARCO DE REFERENCIA.

2.1. Marco Teórico – Conceptual

A lo largo del tiempo se ha venido dando un gran desarrollo en los diferentes métodos de propulsión, volviendo estos una herramienta indispensable para diferentes campos ingenieriles en especial la industria aeronáutica. Antes, es importante dar una breve definición sobre el motor, el cual es una “maquina destinada a producir movimiento a expensas de otra fuente de energía, ya sea un motor tipo eléctrico, térmico o hidráulico” (ASALE, 2001).

La invención de los primeros motores nace bajo el diseño del ingeniero militar y mecánico, escritor e inventor francés, Nicolás Joseph Cugnot, quien construye un motor de vapor en 1769, diseñado para propulsar un vehículo militar, el cual tenía la capacidad de arrastrar diferentes piezas de artillería, este fue bautizado como El Fardier. Este diseño partía de un triciclo junto con una caldera en su parte frontal junto con dos cilindros verticales y cincuenta litros de desplazamiento; siendo su parte frontal, el tractor motriz del vehículo (Cengel, Termodinamica, 2015). Posteriormente James Watt inventa uno de los mecanismos que cambió el rumbo del desarrollo de los motores, en 1779 el ingeniero Watt inventa la biela y manivela con el fin de perfeccionar las diferentes máquinas de vapor de la época, transformando el movimiento de vaivén del pistón en un movimiento circular. Gracias a dicha invención mecánica, el ingeniero Walter Hancock crea un motor de vapor más eficiente hasta la época. “Hancock consiguió diseñar una caldera que soportaba altas

presiones y que era sólida y manejable. De esta forma llegó a tener funcionando desde agosto hasta noviembre de 1834 dos vehículos a vapor, “Era y Autopsy”, haciendo el recorrido entre Londres y Paddington a una velocidad de 32 km./h” (Muñoz, 2017)

El motor a vapor además de tener muchos problemas como lo es el excesivo tiempo de calentamiento y su tamaño, había llegado a su máxima eficiencia por lo que se dio la búsqueda de un sustituto. Esta búsqueda empieza con Josef Bozek en 1815 con la construcción de un motor propulsado por aceite y posteriormente en 1839 Rober Ardenson construye un motor propulsado por células eléctricas no recargables.

Estos seguían siendo motores poco eficientes por lo que, en 1860, Jean Joseph Etienne Lenoir estuvo más cerca que nunca de crear un motor que cumpliera con las necesidades de la época, pues este desarrolla y patenta el primer motor de combustión interna del mundo que usó como combustible gas de carbono, junto con un sistema de ignición. Este motor tuvo bastantes problemas en el sistema de encendido y de consumo, por lo que fue derrocado y dejado a un lado.

En ese momento todo el desarrollo de motores se encontraba un poco estancado, sin ningún cambio a lo largo de las diferentes décadas, nada había cambiado desde la primera invención de Nicolas Joseph con su motor de vapor, hasta que llega el motor de dos tiempo con el alemán Nikolaus Agust Otto en 1861 y en 1862 el ingeniero francés Alphonse Beau de Rochas establece el ciclo del motor de cuatro tiempos, siendo estas dos invenciones que cambiarían por completo el rumbo del desarrollo de los motores, abriéndole las puertas a

la implementación, interés e inversión de diferentes sectores industriales y también de transporte (Cengel, Termodinamica, 2015).

El Ciclo Otto, es un ciclo termodinámico aplicado en los diferentes motores de combustión interna alternativos de encendido provocado, capaces de convertir la energía química que contiene el combustible en energía mecánica.

El ciclo Otto es uno de los ciclos de potencia más importantes a lo largo de la historia, este es basado en el ciclo de Carnot, el cual se desarrolla bajo cuatro procesos presentados en la Figura 2:

a-b: compresión isotrópica del gas, es aquí donde en el punto **a** se tiene el máximo volumen con los menores valores de presión y temperatura, dándose luego la compresión en donde hay un aumento de presión y temperatura llegando hasta el punto **b**. Aquí se da una transferencia de trabajo, es decir, el trabajo de compresión.

b-c: se suministra energía en forma de calor al sistema a volumen constante, elevando los gradientes de presión dentro del sistema, esto hace que en el punto **c** se tenga la presión más elevada de todo el ciclo.

c-d: se da una expansión isotrópica desde el punto **c** hasta el punto **d**, teniendo una disminución de temperatura y de presión mientras el volumen aumenta, es aquí donde de la liberación de energía se extrae el trabajo

d-a: entre el punto **d** y **a**, donde parte de la energía que ingreso al sistema y no pudo ser convertida en trabajo, es rechazada en forma de calor dándose un enfriamiento del sistema volumen constante (Cengel, Termodinamica, 2015)

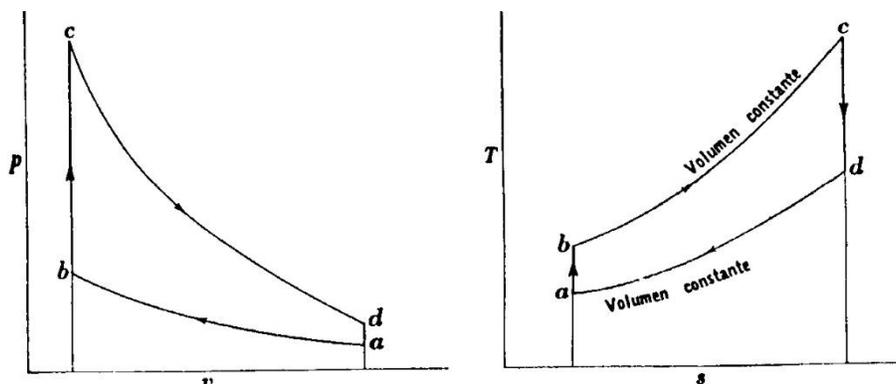


Figura 4 Diagrama Presión Vs. Volumen, Diagrama Temperatura Vs. Entropía, Ciclo Otto (Cengel, Termodinamica, 2015)

Existen dos tipos de motores que funcionan bajo el mismo ciclo Otto, los motores de cuatro tiempos y los motores de dos tiempos. Los motores de cuatro tiempos son los más utilizados en las diferentes industrias de transporte junto con los motores que funcionan bajo el ciclo Diésel. (Payri, Olmeda, Martín, & García, 2011)

El ciclo Otto de dos tiempos, Figura 3, empieza con el proceso de Admisión-Compresión, esta se da cuando el pistón se encuentra en el punto muerto inferior (PMI), es decir, la posición más baja a la que puede llegar el pistón, e inicia su carrera hacia el punto muerto superior (PMS), haciendo referencia a la posición máxima a la que puede llegar el pistón. Generando en esta carrera una diferencia de presiones para así aspirar la mezcla

aire-combustible por la lumbrera de admisión, entrando la mezcla hacia el cárter de precompresión. (E-ducativa, 2015)

Cuando el pistón se encuentra en la parte superior sellando las lumbreras, denegando la entrada de más mezcla, empieza la carrera de retroceso, comprimiendo el pistón, el cárter, y la mezcla que se encuentra allí, hasta que el pistón descubre la lumbrera de transferencia que comunica el cárter de precompresión con la cámara de combustión, fluyendo a través de la lumbrera la mezcla pre comprimida para entrar a la cámara de combustión, ayudando a está a expulsar los gases quemados. Por consiguiente, se da el proceso expansión-escape de gases, cuando el pistón se encuentra en el PMS y la mezcla esta comprimida dentro de la cámara de combustión, se enciende la chispa generada por los dos electrodos de la bujía, generando una liberación de energía el combustible dándose así mismo altas temperaturas y presiones. Dicha energía hace que el pistón se desplace hacia abajo hasta descubrir la lumbrera de escape. Al presentarte las altas presiones, los gases de escape salen por dicho orificio, dando esto paso a empezar de nuevo el ciclo (E-ducativa, 2015).

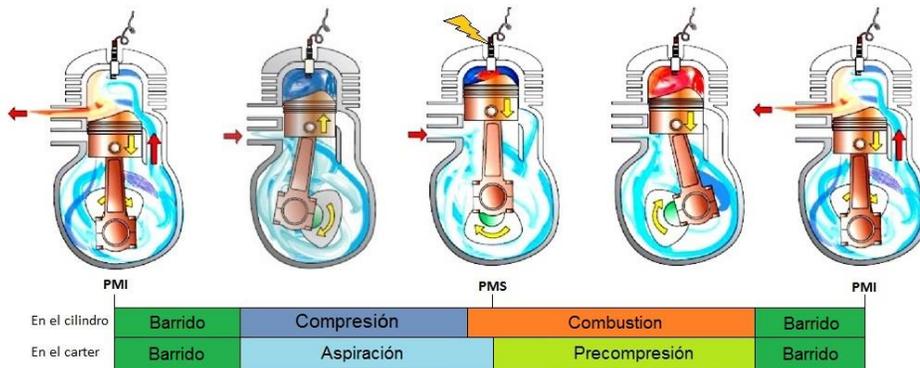


Figura 5 Ciclo Otto en un motor de dos tiempos (E-ducativa, 2015)

En comparación con los motores que funcionan con ciclo Otto de cuatro tiempos, el rendimiento de los motores de dos tiempos es inferior, ya que su rendimiento volumétrico es bajo. A su vez el sistema de escape es menos eficaz, ya que al no utilizar un sistema de válvulas los gases de escape contienen bastantes inquemados lo cual es un factor contraproducente ya que no se logra extraer toda la energía del combustible y aumenta la producción de emisiones contaminantes. Una de las ventajas de este motor es que suele entregar mejores valores de par motor por unidad de tiempo, siendo esto comparado con un motor de la misma cilindrada de cuatro tiempos; ya que este genera una combustión por cada revolución a diferencia del motor de cuatro tiempos que genera una combustión cada dos revoluciones. El motor de cuatro tiempos tiene mayores pérdidas mecánicas por la cantidad de piezas móviles que este contiene, ya que este necesita de un sistema mucho más elaborado para el accionamiento de las válvulas para realizar la admisión y el escape de la mezcla, a diferencia del motor de dos tiempos que para ingresar

la mezcla y evacuar los gases quemados se utiliza solamente dos cavidades conocidas como lumbreras (CARMAN, 2016).

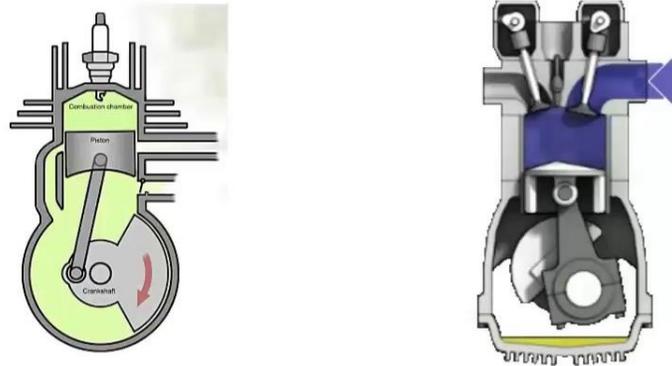


Figura 6 Motor de 2 tiempos vs. Motor de 4 tiempos (CARMAN, 2016)

Para poder analizar el rendimiento, funcionamiento y comportamiento de los motores de combustión interna alternativos se utilizan elementos estáticos con la capacidad de medir los diferentes parámetros anteriormente mencionados, por medio de instrumentos electrónicos o mecánicos, esto es conocido como banco de pruebas. Este también puede ser definido como una plataforma de experimentación que brinda “Una forma de comprobación rigurosa, transparente y repetible de teorías científicas, elementos computacionales y nuevas tecnologías” (Marquez Ortiz, Ramirez Laguna, & Tovar Diaz, 2013).

Los motores de combustión interna alternativa se pueden someter a diferentes comprobaciones en los bancos de prueba como la caracterización geométrica del motor, simulación de funcionamiento bajo diferentes condiciones de operación, para así analizar

el rendimiento del motor, la parametrización de los diferentes valores de consumo de combustibles, empuje, par, temperaturas y ciclo termodinámico del motor bajo los diferentes regímenes de operación.

Los bancos de pruebas necesitan diferentes instrumentos de medición para cuantificar dichos parámetros a estudiar, estos instrumentos se ven representados en elementos electrónicos digitales o analógicos que permitirán convertir parámetros físicos de entrada, en señales digitales, que son representadas en un valor específico ya sea temperatura, revoluciones por minuto, fuerza de empuje, flujo de combustible o presiones (León Marroquín, Quintero Núñez, & Venegas Pereira, 2015).

Un sensor es un elemento con la capacidad de medir ya sean magnitudes físicas o químicas, las cuales son variables de medición cuantitativa, estos sensores convierten dichas magnitudes físicas o químicas las cuales se ven compartidas en un valor numérico a una unidad específica. “Estas variables pueden ser intensidades lumínicas, temperatura, distancia, aceleración, inclinación, presión, desplazamiento, fuerza, torsión, humedad, movimiento” (Numpaqué, s.f.), donde en este caso, enfocado hacia el proyecto, se utilizarán instrumentos capaces de medir temperatura, revoluciones por minuto y velocidad de flujo los cuales son manufacturados por la empresa Eagle Tree.

El instrumento “Optima RPM sensor for Data Recorder and Elogger V2 Trhu V4” es capaz de medir las revoluciones por minuto. Es un sensor tipo óptico o también conocido como foto eléctrico, este es capaz de detectar la presencia o cualquier elemento sólido a

una distancia, esto a través del cambio de intensidades de luz. Este es un instrumento óptico de tipo difusor reflectivo, esto quiere decir que cada vez que la onda de luz emitida desde el sensor viaja hacia a la hélice, rebota al tiempo que esta gira, y el receptor se encarga de interpretar la frecuencia con la cual la señal es interrumpida y de esta manera determinar el régimen de giro de la planta motriz, este fenómeno se puede ver interpretado en la Figura 7.



Figura 7 Sensor Óptico Difusor-Reflectivo (Mecafenix, s.f.)

El instrumento “Air speed Microsensor V3” (Figura 8) tiene la capacidad de medir la velocidad de flujo por medio de una toma Pitot-estática. Está se conecta a un microcontrolador, el cual a partir de transductores es capaz de convertir las presiones (dinámica y estática) en señales eléctricas, y con estos valores calcular la velocidad del flujo a través del teorema de Bernoulli.

A través de la interfaz se logra ver el valor de la velocidad de flujo ya sea en unidades de Millas por hora o en caso tal, Kilómetros por hora. (Eagle Tree Systems, 2008)



Figura 8 Airspeed Micro Sensor (Airspeed Microsensor V3, s.f.)

Como instrumentos de temperatura se utilizaron dos referencias, “Micro Temp Sensor” (

Figura 10) y “Motor Loop Temperature Sensor” (

Figura 9), el funcionamiento de estos sensores parte de la transformación de los cambios de temperaturas en señales eléctricas las cuales son procesadas por micro controladores, que en este caso la información es procesada por el “Elogger V4”. Estos sensores utilizan materiales sensibles a los cambios de gradientes de temperatura por lo tanto estos deben ser excelentes conductores térmicos para que estos cambios se trasmitan de manera rápida. Estos materiales pueden ser el óxido férrico, el óxido de níquel, platino o el óxido de cobalto.

Los sensores utilizados son de tipo RTD (Resistance Temperature Detector), detectores de temperatura resistivo, es decir, que este se basa en el cambio de la resistencia del conductor de la temperatura,” Al calentarse un metal habrá una mayor agitación térmica, dispersándose más los electrones y reduciéndose su velocidad media, aumentando

la resistencia. A mayor temperatura, mayor agitación, y mayor resistencia” (Sensor De Temperatura: Características Y Funcionamiento., s.f.)



Figura 9 Motor Loop Temperature Sensor



Figura 10 Micro Temp Sensor

2.2. Marco Legal o Normativo

A continuación, en la

Tabla 2 Normas Aplicables se logran ver todas las normativas aplicables durante el desarrollo del proyecto, tanto técnicas como de seguridad industrial.

Tabla 2 Normas Aplicables

| NORMATIVA | NOMBRE | UBICACIÓN | DESCRIPCION |
|--|--|--|---|
| <i>ELEMENTOS DE PROTECCION PERSONAL</i> | LEY 9 DE 1979 RESOLUCION 2400 DE 1979 | TITULO III TITULO IV | Salud ocupacional, contempla todos los factores que en el ejercicio de una tarea u oficio sean riesgosos, por ende, recomienda la utilización de diferentes elementos para la conservación de la integridad. (MINISTERIO, 1979) |
| <i>SAE J 13-49 SAE J 19-95 SAE J 13-12 SAE J 15-26 SAE J 19-40</i> | ADQUISICIÓN DE DATOS Y CORRECCIÓN DE ESTOS EN PRUEBAS ESTÁTICAS DE MOTORES | En sus diferentes numerales de las normas. | Adquisición de datos en pruebas para motores. Brinda parámetros y procedimientos de cómo se deben adquirir y manejar los datos en una prueba de banco motor. (SAE) |
| <i>COMBUSTIBLES</i> | RESOLUCION 0447 | Ministerio de minas y energía. | Esta resolución muestra parámetros de calidad referentes a los combustibles en Colombia. Además, en la resolución muestran la composición de las diferentes combinaciones que se pueden encontrar por cada 500.000 habitantes. (Ministerio de minas y energías, 2003) |
| <i>NORMAS APA</i> | NORMAS APA | | Normatividad que rige el escrito de este documento. |

3. METODOLOGÍA.

Para una correcta realización del proyecto, la metodología propuesta se ha dividido en cuatro fases las cuales tendrán como resultado el producto final (máquina y documento). La definición de estas cuatro fases se da a partir de los cuatro principales componentes que se encuentran en el banco, los cuales son el motor, la estructura, la sensórica y la seguridad.

Como primera fase (

Figura 11) se tiene la fase del motor, en esta fase se pretende realizar inspecciones visuales a los componentes de fácil acceso (tubo de escape, carburador, hélice, spinner, magneto, ignición y bujía). En esta primera fase se podrá evidenciar aspectos propios de cada componente de fácil inspección para dar un parte de aprobación o desaprobación de este.

Seguido de la inspección visual se pretende realizar las compras de elementos que son de difícil manufactura y de gran relevancia para el funcionamiento. Se realizarán pruebas de funcionamiento del motor fuera de la estructura principal del banco, ya que en esta fase el principal objetivo es encontrar deficiencias de funcionamiento, corregir y dejar estas deficiencias atrás teniendo el motor a punto para realizar pruebas junto con la bancada en la estructura principal.

La segunda fase (Figura 12), está enfocada en la inspección de la estructura, en donde se busca encontrar fallas en esta, al registrarse dichas fallas se procederá a tomar acciones correctivas que logren complementar las labores realizadas sobre el motor con el fin de

lograr que los componentes estructurales se encuentren en óptimas condiciones. Esta fase es de vital importancia ya que este elemento, será el alma del conjunto total llamado banco de pruebas. A este componente se le deben agregar elementos disipadores de vibración con el fin de proteger el producto final.

Dentro de esta fase es bastante importante tener en cuenta la pared de fuego, elemento al cual se le sujetara la bancada. En esta fase se buscará encontrar el material óptimo para la fabricación de este elemento. Buscando no alterar el diseño inicial se pretende encontrar una pared de fuego que satisfaga características propias de las dimensiones que se manejan previamente en el banco de pruebas.

En la tercera fase (Figura 13) se pretende realizar la instalación e implementación del sistema de adquisición de datos, durante este proceso es de vital importancia definir los parámetros del motor que se desean obtener. A partir de estos parámetros se determina la sensórica que será utilizada durante el desarrollo de esta fase y su ubicación. Posteriormente a la elección de esta, se procede a la instalación de la misma.

Luego de haber implementado todo el sistema de adquisición de datos se realizan pruebas mediante las cuales se determina si el funcionamiento de este es correcto, en el caso de que no sea así se realizan las correcciones pertinentes. Después se realizarán los mecanismos mediante los cuales se le entregan al usuario los datos obtenidos.

La cuarta fase (Figura 14) comprenderá el esquema de seguridad para la operación del motor, en esta fase se realizará un estudio de seguridad en el cual se evaluarán los posibles

esquemas de seguridad planteados, dentro de esta evaluación también se analizará la facilidad de diseño y manufactura de dicho sistema.

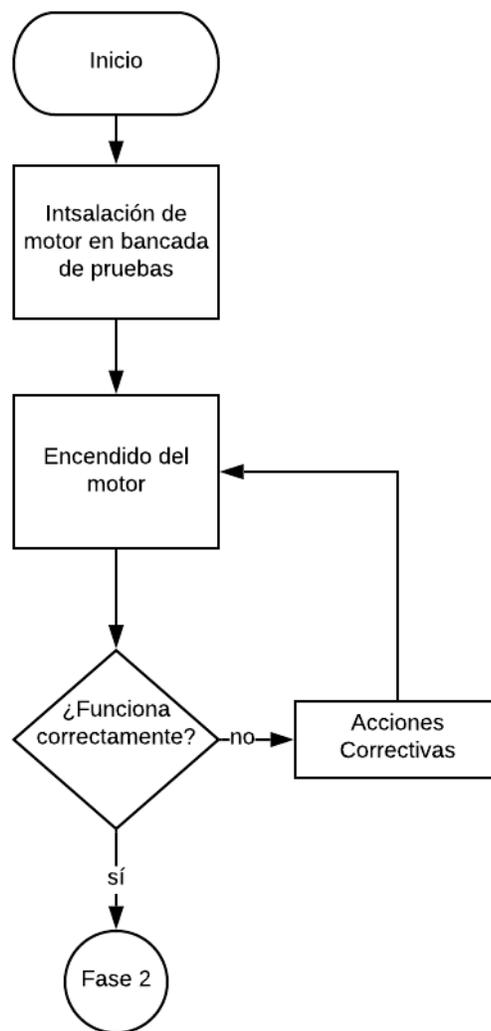


Figura 11. Fase 1 de la metodología

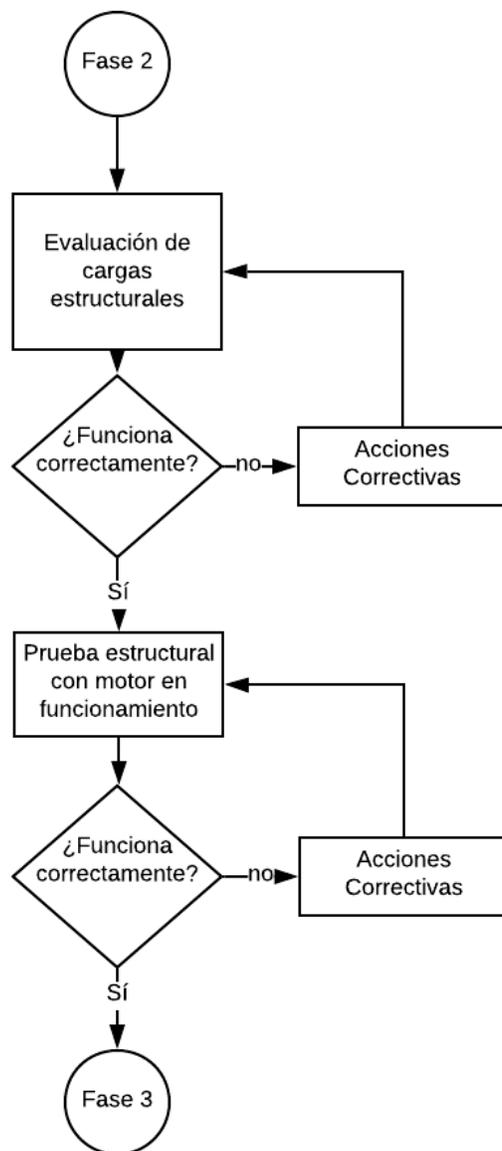


Figura 12. Segunda fase de la metodología

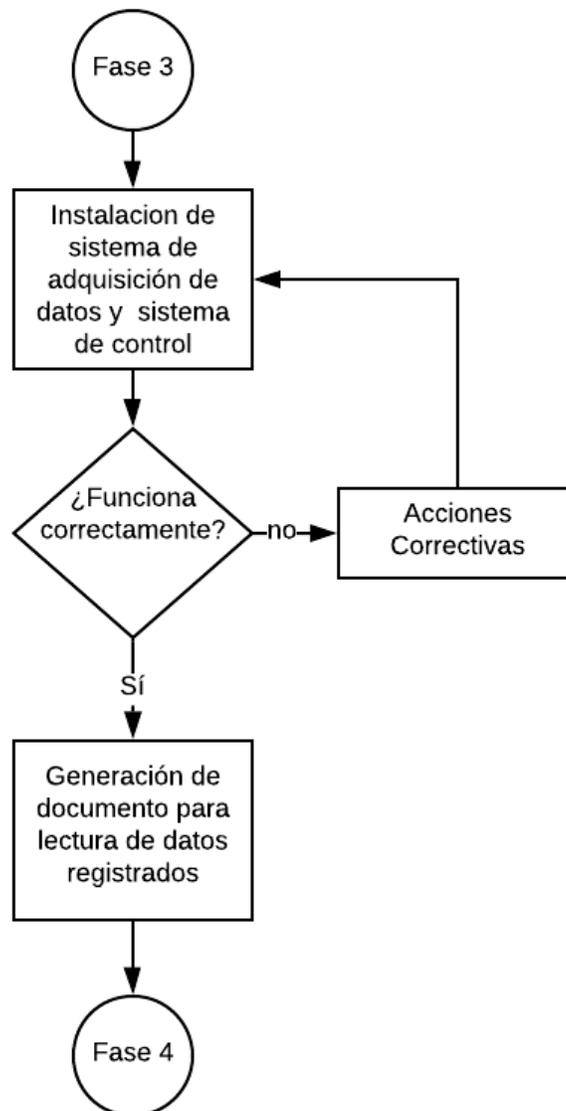


Figura 13. Tercera fase de la metodología

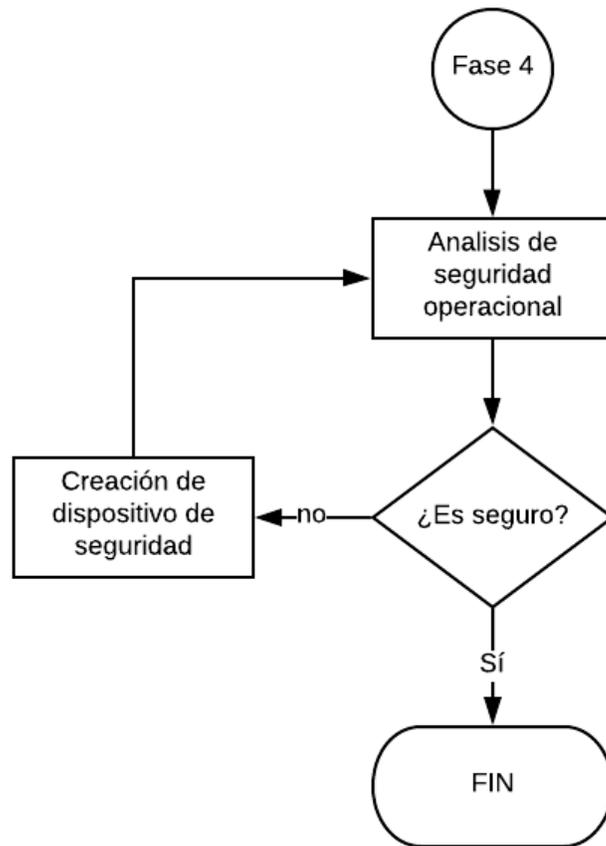


Figura 14. Fase final de la metodología

4. DESARROLLO INGENIERIL.

Correspondiendo a lo planteado en la metodología se inició con la fase 1, la cual se desarrolló inicialmente con la instalación del motor DESERT AIRCRAFT 85 CC en la bancada realizada especialmente para los dos motores existentes en la Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá. Esta bancada cuenta con los agujeros acordes a los tornillos de sujeción entre el motor y la bancada como se puede apreciar en la Figura 15.



Figura 15 Sujeción del motor a la bancada

Para la realización de dicha sujeción fue necesario la utilización de dos arandelas, una en la zona posterior y otra en la zona anterior como se logra evidenciar en la Figura 16. Cabe resaltar que los tornillos utilizados fueron entregados en conjunto con el motor. Estos tornillos se utilizaron únicamente para realizar un primer acercamiento para evaluar el estado del motor, ya que para el montaje de la planta motriz en el banco de pruebas se utilizarán tornillos de mayor diámetro debido a que la bancada cuenta con orificios más grandes.



Figura 16 Montaje del motor en bancada de pruebas por medio de junta pernada con utilización de arandelas.

Posteriormente al haber instalado el bloque en la bancada de pruebas se procedió a instalar el escape el cual se puede observar en la Figura 17.



Figura 17 Escape instalado en el motor.

Continuando con el alistamiento de la planta motriz para su encendido, se procede a realizar el alistamiento de la hélice. Para esto es de vital importancia el balanceo de esta ya que la función de este procedimiento es asegurar que el centro de gravedad de la hélice quede alineado con el eje de rotación del motor, esto con el fin de mitigar las vibraciones causadas por fuerzas excéntricas.

El balanceo estático se realizó a través de un balanceador de hélices, el cual soporta la hélice sobre cuatro rodamientos para que esta pueda girar libremente. El procedimiento consiste en colocar la hélice sobre el balanceador y ponerla a girar a muy bajas revoluciones, cuando la hélice se detenga debe quedarse en la posición exacta en la que se detuvo, en caso tal de que esta se llegue a detener y después de pocos segundos vuelva a girar, es porque se encuentra desbalanceada, siendo la pala más pesada la que quede en la posición inferior.

Al notar cuál de las tres palas es la más pesada existen dos métodos para realizar el balanceo de la hélice, el primero corresponde a agregar peso a las palas sobrantes para que el centro de gravedad se mueva hacia el centro por un aumento de masa en el lado contrario. La otra alternativa consiste en remover material de la pala más pesada y asimismo generar un desplazamiento del centro de gravedad, pero esta vez ocasionado a una disminución de la masa.

Es necesario tener en cuenta que estos procedimientos pueden afectar la eficiencia aerodinámica de las palas ya que se les está modificando su geometría. En este caso se tomó la decisión de aplicar la primera opción, para ello se montó la hélice en el balanceador y se determinó cual era la pala más pesada, posteriormente se le fue agregando peso gradualmente a las palas restantes por medio de cinta adhesiva hasta lograr un correcto balanceo de la hélice como se muestra en la Figura 18.

En seguida se retiraron las cintas adhesivas y se pesaron para saber la cantidad exacta de peso que se le debía agregar a cada pala. Finalmente se agregó el peso necesario a cada pala aplicando Cianoacrilato contrarrestando el peso de la cinta y se realizaron las pruebas correspondientes para verificar el balanceo.



Figura 18 Balanceo de la hélice

Continuando con la metodología propuesta, se procedió a realizar el encendido del motor, para esto se debió realizar un procedimiento preliminar el cual consiste en la preparación del combustible. Este procedimiento consta de realizar una mezcla entre el combustible y el agente lubricante, en este caso, se utilizó gasolina extra y aceite Racing para motores 2T en una proporción volumétrica 30:1, siendo esta la recomendada para la altura de en la que opera el motor, es decir, Bogotá.

Teniendo la mezcla de combustible lista, se introduce en el tanque y se realiza el encendido del motor con ayuda de un arrancador eléctrico, teniendo en cuenta las recomendaciones ofrecidas por el fabricante, las cuales se listan a continuación (Desert Aircraft, 2012):

1. Cerrar completamente el estrangulador.
2. Abrir el acelerador a una posición aproximada de 1/8 del recorrido total de este.

3. Encender la ignición.
4. Darle a la hélice un movimiento rápido y firme en sentido contrario a las agujas del reloj hasta que el motor se encienda o “Salte”.
5. Abrir el estrangulador.
6. Colocar el acelerador en posición de ralentí.
7. Girar la hélice nuevamente hasta que el motor se encienda y funcione.
8. Dejar que el motor se caliente durante 15 a 20 segundos antes de avanzar el acelerador.

Posteriormente al encendido del motor se evidenciaron 2 grandes preocupaciones. La primera fue un recalentamiento rápido del motor debido a estar en un banco estático con una hélice de configuración pusher y no tractor, el motor no es capaz de realizar correctamente su refrigeración ya que no hay un flujo de aire con el cual se pueda hacer una transferencia de calor forzada. La segunda fueron vibraciones excesivas, esto es debido a la falta de masa en el sistema de sujeción de la bancada.

Para mitigar el problema relacionado con la transferencia de calor se realizó el cambio de la hélice de la planta motriz por una hélice 24x12 hecha en fibra de carbono en configuración tractor la cual se puede visualizar en la

Figura 19, así logrando un flujo de refrigeración hacia el motor, lo que permitió un correcto funcionamiento de la planta motriz.

Después de obtener la hélice seleccionada se procedió a abrir los agujeros para pasar los tornillos que la sujetan al motor. Para ello fue necesario tener como referencia el plato de sujeción de la hélice pusher y alinearlos de manera concéntrica, en este caso se alineó con una broca del mismo tamaño del eje del motor, como se puede observar en la

Figura 20. Posteriormente se realizaron los agujeros con ayuda del taladro fresador, esto con el propósito de tener una mayor precisión y no desviarse de la guía dada por el plato de la hélice anterior.



Figura 19 Helice 24x12 de Fibra de carbono



Figura 20 Apertura agujeros hélice Biela 24x12A

Luego se procede a instalar la hélice; sin embargo, el spinner con el que se contaba no encajaba, ya que este está diseñado para una hélice pusher y no una tractor, es por esto por lo que se procede a desarrollar un nuevo spinner. La técnica utilizada para la realización de este fue el repujado, para ello fue necesario escoger el molde que se ajustará a una forma cónica la cual se pudiese adaptar al arrancador del motor, asimismo que tuviese un diámetro lo suficientemente grande para no interferir con la raíz de las palas pero que por su tamaño no disminuyera el rendimiento de la hélice. Los posibles moldes que cumplían con las características mencionadas anteriormente son los que se pueden ver en la Figura 21.



Figura 21 Moldes para realización del spinner

Se toma la decisión de tomar el molde de la punta más fina, ya que se adaptaría mejor al arrancador. Luego de tener el molde seleccionado se procede a montarlo en el torno de repujado y se le da la forma cónica a la lámina previamente cortada, de igual manera se realiza para el disco que sujeta el spinner al eje del motor. Como resultado se obtiene la pieza mostrada en la Figura 22.



Figura 22 Spinner sin agujeros

Posteriormente se procede a hallar el centro del disco en donde se realizó una perforación, en este agujero se colocó la guía para perforar los huecos mediante los cuales se sujeta el spinner al eje central del motor. Este procedimiento está evidenciado en la Figura 23. Ya con la guía puesta, igual que con la hélice se realizó los orificios que aseguraran el spinner por medio de una junta pernada.



Figura 23 Perforación del disco del spinner

Ya teniendo el disco perforado, se continuó con el spinner. La realización de los orificios por donde pasan las palas de la hélice comenzó tomando como referencia el spinner inicial. Se calcó el perfil de corte de la pieza anterior y realizando un efecto espejo se dibujó el perfil que debía ser cortado en el nuevo spinner como se logra ver en la Figura 24. Luego de tener las guías con ayuda de un motortool se procedió a realizar el corte de los agujeros.



Figura 24 Perfil de corte spinner

Después de tener el spinner cortado se realizó la unión entre este y el disco, para ello se planteó la unión mediante tornillos. Este proceso constó de la realización de los agujeros en los laterales de ambas piezas y una posterior roscado. Finalmente, se termina la unión por medio de tornillos como se logra ver en la Figura 25. Es de vital importancia que el centro de gravedad del conjunto quede sobre su eje de rotación ya que esto mitiga las vibraciones en el banco motor. Es por esto por lo que finalmente se procedió a realizar el balanceo como se ve en la Figura 25, esto mediante el mismo proceso por el cual se balanceo la hélice anteriormente.



Figura 25 Balanceo del conjunto disco-spinner

Luego de tener todos los componentes balanceados se procedió a instalarlos en el motor, como se puede ver en la Figura 28. Posteriormente se realizó el encendido del motor para realizar una evaluación de los cambios generados. Durante este proceso se logró evidenciar la mitigación del sobrecalentamiento de la camisa del motor; sin embargo, se encontraron falencias con el tubo de escape del motor, debido al posicionamiento de este y la falta de una fijación segura, generando vibraciones muy fuertes las cuales hacen que el mismo se suelte y se caiga durante la realización de las pruebas.

Para solucionar esto, se realizó el desmonte del sistema de sujeción del escape, esto con el fin de poderlo enderezar y dejarlo en una posición en la cual quedara asegurado y lograr la mitigación de las vibraciones. Para poder llevar a cabo este procedimiento se realizó una inspección en la ranuras de pliegue del tubo de escape, esto con el fin de asegurarse de que no existieran grietas las cuales fueran a afectar el correcto funcionamiento del motor, posterior a eso, se montó en una prensa y aplicando cargas en sentido contrario al del dobléz que se presentaba, se enderezo el tubo hasta dejarlo como

se logra observar en la Figura 26. Durante la inspección se encontró que se presentaban fugas en el exosto para ello se selló con un adhesivo del tipo polímero inorgánico derivado del poli siloxano resistente a altas temperaturas.



Figura 26 Exosto

Posteriormente se realizaron de nuevo pruebas a diferentes regímenes de giro, sin embargo, cuando se abría al máximo la mariposa del acelerador el motor, disminuía sus revoluciones hasta que se detenía la marcha. Para corregir este evento se intentó ajustar las agujas de máximas y mínimas en el carburador, no obstante, no fue posible mitigar la falla, es por eso por lo que se decidió hacer una revisión detallada al carburador.

La primera acción durante el desarrollo de inspección detallada del componente fue la desinstalación de este, luego se procedió a hacer un desarme general en donde se logró evidenciar que este se encontraba mal armado además el alimentador se encontraba tapado

y por ello no tenía un correcto funcionamiento, posterior al desarme se ejecutó una limpieza de cada uno de los componentes del carburador como se logra ver en la Figura 27. Esta limpieza se realizó con ayuda de agentes detergentes como limpiador de contactos y Limpiador para superficies de PVC



Figura 27 Limpieza del carburador

Luego de haber limpiado todas las piezas del carburador se procedió a armar el mismo para una posterior instalación en la planta motriz. Se desarrolló una acción preventiva con el componente, instalando un filtro en las líneas de combustible, esto con el fin de impedir el paso de impurezas al surtidor del Venturi las cuales puedan generar un taponamiento y un posterior mal funcionamiento de la pieza.

Luego se procedió a encender el motor de nuevo para verificar que las acciones correctivas descritas anteriormente cumplieran su función. Para ello se realizó el ajuste de

las agujas de máximas y mínimas revoluciones en el carburador, luego se abrieron las agujas dando dos vueltas completas y posteriormente se dio encendido al motor, cabe resaltar que durante este procedimiento es necesario mantener la mariposa del acelerador en una posición medianamente abierta con el fin de garantizar el flujo de aire suficiente para que el motor encienda. Luego de lograr el arranque del motor las agujas se fueron cerrando cada octavo de vuelta de tal manera que la aguja de mínimas se cerrara hasta el punto en el que el motor no “tosiera” y la de máximas hasta que el motor tuviera una respuesta homogénea con las diferentes posiciones del mando de potencia.

Se consideró necesario volver a hacer el despegue de la planta motriz ya que no se conocía la trazabilidad del funcionamiento de esta. Este procedimiento consiste en encender el motor y dejarlo operando por aproximadamente dos horas continuas en ralentí y media hora al 70% del máximo régimen de giro.

Con el procedimiento anterior, se comprobó que el motor se encuentra en óptimas condiciones y se da por finalizada la primera fase de la metodología.



Figura 28 Motor instalado para prueba de estructura.

El siguiente paso, fue la evaluación de la estructura del banco de pruebas para lo cual se hizo una prueba en la que se aplicó una carga colocando un peso muerto de aproximadamente 130 kg sobre la estructura y esta no sufrió ninguna afectación. Posteriormente, se montó el motor en la estructura para ver el comportamiento de esta cuando la planta motriz se encontrará funcionando como se puede ver en la Figura 28.

Luego se procedió a hacer el encendido del motor y así evaluar el estado de la estructura del banco mientras la planta motriz se encontraba en marcha, durante este proceso se logró evidenciar vibraciones considerables e inestabilidad del banco, debido a que la estructura no contenía el suficiente peso para lastrar el banco al suelo. El siguiente proceso en la segunda fase de la metodología es la corrección de los errores encontrados durante los análisis mencionados anteriormente.

En relación con la vibración, el fabricante sugiere aumentar la masa del conjunto para disminuir las oscilaciones generadas por el movimiento recíprocante del pistón. Para esto se propuso aumentar el peso del banco de pruebas por medio de lastres, estos se ubicarán en un depósito el cual se puede visualizar en la Figura 29. Este fue diseñado de tal manera que sea fácil de instalar y remover de la estructura principal, con el fin de poder movilizar el banco de manera sencilla.



Figura 29 Deposito del lastre

Es importante resaltar que el aumento de masa en la estructura del banco de pruebas aumenta su estabilidad, es decir que la implementación del lastre en la estructura ayuda a mitigar los dos principales problemas que se encontraron durante las pruebas.

La pared de fuego y el motor estaban sujetos a un sistema móvil de rieles, el cual estaba compuesto por cuatro barillas cilíndricas y cuatro rodamientos puestos sobre ellos,

los cuales estaba diseñados para tener un grado de libertad, es decir, un movimiento libre a lo largo del eje longitudinal. Este diseño estaba enfocado a la medición de empuje, donde por medio del empuje que ejercía el motor sobre los rieles, se generaba un movimiento el cual elongaba una celda de carga, la cual arrojaba la fuerza del motor por medio de un Arduino.

Durante los ensayos se logró identificar que el sistema de sujeción del motor a la estructura era una de las causas más grandes de las vibraciones, ya que esta no estaba diseñada de una manera correcta, las barillas no estaba completamente alineadas a las diferentes barras que las sujetaban, lo que imposibilitaba un movimiento limpio, las vibraciones también se producían por los rodamientos que estaban montados sobre los rieles, ya que estos no se encontraban correctamente sujetos; Además se pudo identificar que la pared de fuego se encontraba sujeta por pernos con tuercas corrientes, es decir, no de seguridad, lo que hacía que a medida que el motor estuviese en marcha, los elementos empezaran a perder sujeción, lo que representaba un peligro para la operación del banco.

Otra de las razones por las cuales se decidió eliminar los rieles, es que gracias a que se cambió el sistema de adquisición de datos, pasando del Arduino Uno al Elogger V3, este no permite la medición de empuje, ya que este no tiene un canal para sensar dicha variable, lo que imposibilita la medición del parámetro.

A partir de lo expuesto anteriormente, para corregir este problema se decidió quitar los rieles en donde se encontraba instalada la pared de fuego. Al eliminar los rieles se

cambia la pared de fuego de tal manera que la nueva quede anclada a la estructura principal como se puede evidenciar en la Figura 30. Aprovechando el cambio de esta se decide cambiar el material de esta, en este caso se siguió utilizando madera, sin embargo, se determina utilizar zapan, el cual es una madera cuyas propiedades garantizan resistencia estructural además de ayudar a mitigar las vibraciones.

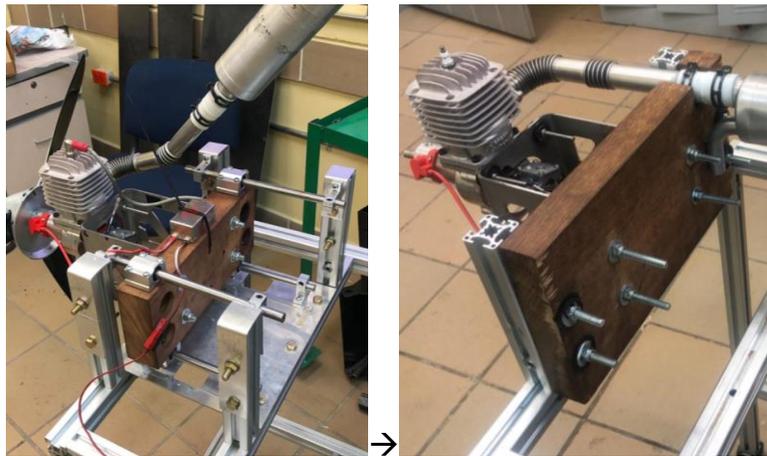


Figura 30 Nueva bancada de Zapan

Otro medio que se utilizó para mitigar las vibraciones Otro medio que se utilizó para mitigar las vibraciones presentes fue el uso de elementos de amortiguación en las uniones de la bancadaFigura 31^[OBJ], debido a que, durante las pruebas de la estructura con el motor en marcha, demostraban que las sujeciones presentaban altas vibraciones.



Figura 31 Elastómeros en uniones pernadas

Siguiendo con la metodología propuesta se inició la fase 3 la cual corresponde a la sensórica, para esto se utilizó el sistema de adquisición de datos de *Elogger V4* (Figura 32) de *EAGLE TREE SYSTEMS*, el cual permite sensar temperatura en 3 puntos diferentes, el régimen de giro y la velocidad del aire mediante un tubo Pitot.



Figura 32 Elogger V4

Para la implementación de los sensores fue necesario la instalación de unos parales en donde fueron ubicados los mismos, estos parales se hicieron en la misma perfilería con la cual está hecha la estructura principal del banco como se logra ver en la Figura 33.



Figura 33 Parales para instalación de sensores

Durante la instalación de los sensores se tuvo en cuenta que estos sensores son susceptibles a sufrir daños y por ende deben ser cambiados periódicamente es por esto por lo que se tomó la decisión de utilizar un sistema de sujeción removible, como lo es la tela tipo velcro, como se logra ver en la

Figura 34 así mismo se colocó elastómeros para el aislamiento de las vibraciones, los cual ayudara a disminuir la afectación de estas a la hora de medir los diferentes parámetros.

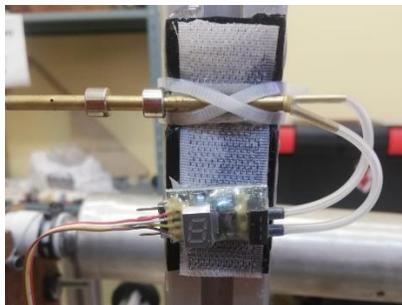


Figura 34 Sujeción de sensores

Luego de tener la instalación de los sensores en las diferentes ubicaciones de la estructura, como lo es el sensor óptico que se encuentra en la parte frontal, el cual se encargara de medir el régimen de giro de la hélice, la toma de “Air speed” (Figura 35) el cual se encuentra justo detrás de la pared de fuego, donde este tendrá la tarea de medir la velocidad de flujo detrás de la hélice. Otro de los sensores, el de temperatura el cual se ubica a la salida de gases del exhosto, y un segundo sensor de temperatura que se está posicionado en el tercer anillo de las aletas de la camisa de la cámara combustión, y por último el sensor de temperatura para la admisión del carburador, el cual medirá la temperatura de entrada al motor.

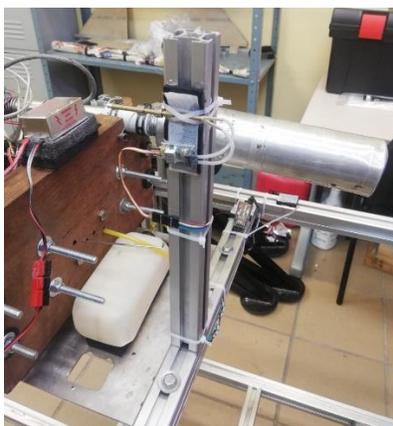


Figura 35 Sensor de velocidad del aire instalado en el banco

En la figura se logra ver como se encuentran distribuidos los sensores a través de la estructura del banco y en la tabla se ve la descripción de cada uno.

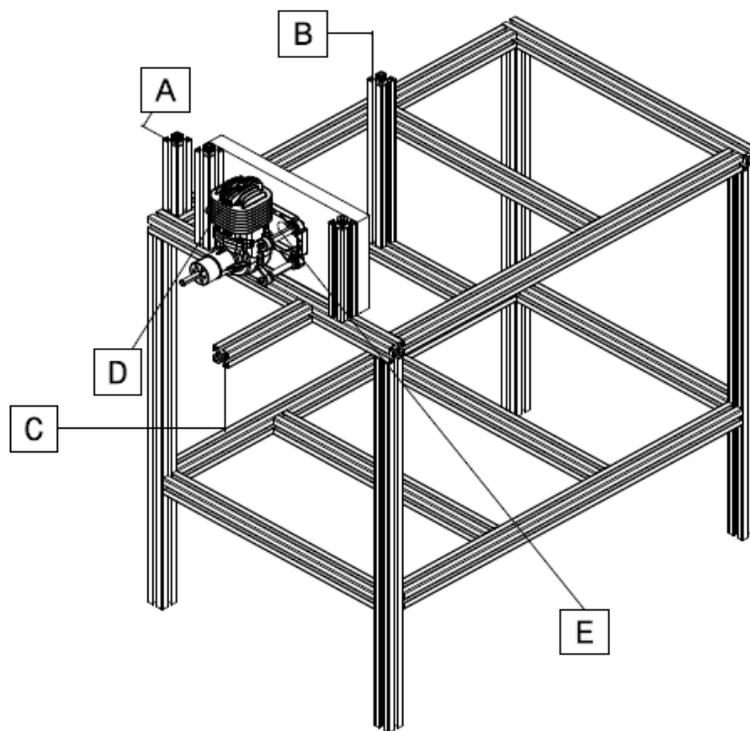


Figura 36 Ubicación de los sensores en el banco de pruebas

Tabla 3 Descripción de sensores respecto a su ubicación

| <i>Indicador</i> | <i>Sensor</i> | <i>Variable</i> |
|-------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| A | Micro Temp Sensor | Gases de exhosto |
| B | Airspeed Micro Sensor | Velocidad del flujo |
| C | Magnetic RPM Sensor | Revoluciones por minuto de la hélice |
| D | Motor Loop Temperature Sensor | Temperatura del cilindro |
| E | Micro Temp Sensor | Temperatura de entrada |

Posteriormente se realizó la configuración de la interfaz gráfica del software *data recorder* en donde se logran ver los datos sensados en tiempo real, en este caso se realizó una configuración en donde se logran ver 4 relojes, de los cuales 2 corresponden a temperaturas, uno a velocidad del aire y el ultimo a él régimen de giro como se puede observar en la Figura 37, asimismo se logran ver los datos numéricos de cada uno de los sensores.



Figura 37 Configuración del software Data Recorder

Cabe resaltar que el sistema de adquisición de datos no solo permite ver los datos en tiempo real, sino que este genera un archivo .FDR en donde se registran los datos sensados con una frecuencia de 10 datos por segundo, sin embargo, este archivo es ilegible a simple vista como se puede observar en la Figura 38

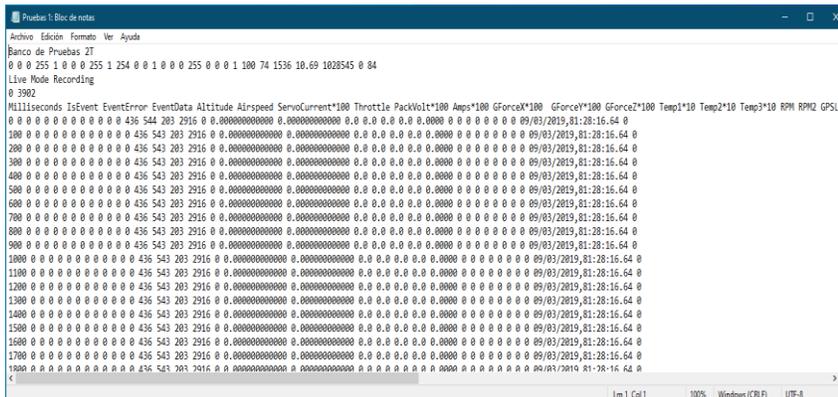


Figura 38 Archivo .FDR arrojado por Data Recorder

Para solucionar esta problemática y poderle entregar al usuario un documento en donde los datos se logren leer de una manera cómoda, organizada y sencilla se creó una macro en el software *Excel* a partir de la herramienta *Visual Basic* como se evidencia a continuación en la

Figura 39

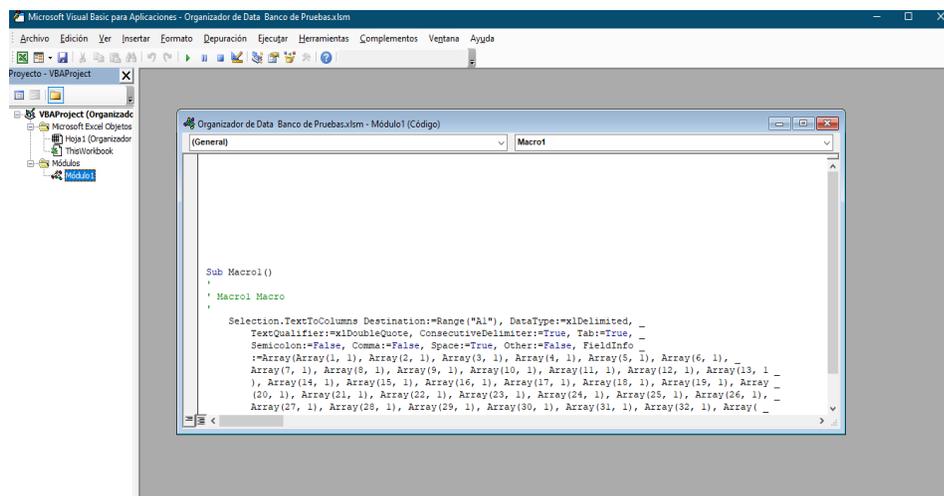


Figura 39 Generación de la macro en Visual Basic

En el anexo 6 se logra evidenciar el código de la macro la cual cuenta con un botón que al ser ejecutado organiza la información que se encuentre en la hoja como se logra ver a continuación en la Figura 40

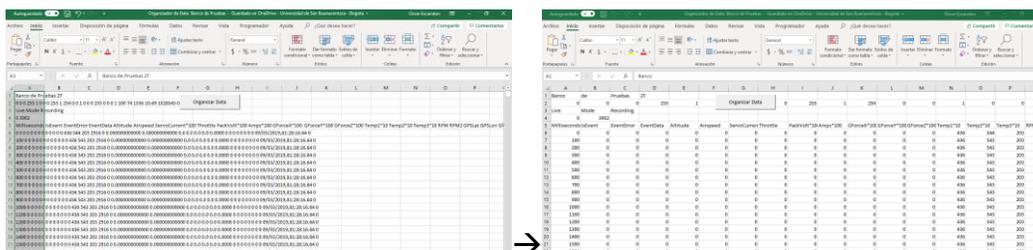


Figura 40 Datos Organizados

A su vez y con el fin de entregar un valor más acertado de la temperatura en la cámara de combustión, se realizó el análisis por transferencia de calor desde el sensor tipo loop hacia el interior del cilindro por medio del siguiente análisis:

$$Q = \frac{T_{inf2} - T_1}{R_{cond} + R_{conv}} \quad (1)$$

Donde cada variable representa los valores de los parámetros definidos a continuación.

T_{inf2} = tempratura en la camara de combustion

T_1 = temperatura sensada por el loop.

$R_{cond} = \text{resistencia termica por conduccion}$

$R_{conv} = \text{resistencia termica por conveccion.}$

En donde:

$$R_{conv} = \frac{1}{h_2 * (2 * \pi * r * L)} \quad (2)$$

$$R_{cond} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 * \pi * L * K} \quad (3)$$

Con el fin de encontrar dicha temperatura, de la ecuación número 1 se despejó el valor de la temperatura en la cámara de combustión, para la solución se planteó las ecuaciones referentes a la transferencia de calor por aletas, esto con el fin de encontrar un valor total de dicha razón, con este valor se logrará entregar el valor de la temperatura en la cámara de combustión.

Para la ecuación que modela esta variable de operación se deben tener en cuenta las siguientes constantes.

Numero de Reynolds

$$Re = (V * L) / \nu \quad (4)$$

Donde:

$V = \text{velocidad el flujo de refrigeracion.}$

$L = \text{longitud característica de la aleta.}$

$\nu = \text{viscosidad cinemática.}$

Luego se procede a hallar el número de Prandtl, este valor se encuentra en las tablas definido para diferentes valores de temperatura. Para este caso se asume una temperatura de 20 grados Celsius, para obtener un valor de 0.7309. (Cengel, transferencia de calor y masa, 2007). También se procede a hallar el número de Nusselt mediante a ecuación 3

$$Nu = 0.453 * Re^{0.5} * Pr^{\frac{1}{3}} \quad (5)$$

A partir de estos valores se puede hallar el valor del coeficiente de convectividad para el aire que refrigera el cilindro del motor, lugar donde se encuentra situado el sensor de medición. La solución de esta incógnita se da por la ecuación que se muestra a continuación.

$$Nu = \frac{h_1 * L}{K} \quad (6)$$

Igualando las ecuaciones (5) y (6), se logra despejar, la incógnita del coeficiente de convectividad para el aire (h_1).

$$0.453 * Re^{0.5} * Pr^{\frac{1}{3}} = \frac{h_1 * L}{K} \quad (7)$$

En la ecuación (6) y (7). Se encuentra implícito el coeficiente de conductividad térmica (K) del aluminio 7075, el cual tiene una magnitud de 130 W/m*K. (ASM MATERIAL DATASHEET., s.f.).

Se obtuvo un valor de dicho coeficiente de $15,334 \frac{W}{m^2 \cdot K}$.

Continuando con el análisis de transferencia de calor por aletas, se realizan los siguientes análisis.

$$\dot{Q}_{total} = \dot{Q}_{libre\ de\ aleta} + \dot{Q}_{aleta} * \#aletas \quad (8)$$

$$\dot{Q}_{total\ de\ aleta} = \dot{Q}_{libre\ de\ aleta} + \dot{Q}_{aleta} \quad (9)$$

$$\dot{Q}_{libre\ de\ aleta} = h_1 * A_{libre\ de\ aleta} (T_b - T_{inf}) \quad (10)$$

$$\dot{Q}_{aleta} = h_1 * A_{aleta} * \eta_{aleta} (T_b - T_{inf}) \quad (11)$$

$$\dot{Q}_{cilindro} = h_1 * A_{cilindro} (T_b - T_{inf}) \quad (12)$$

la solución de la ecuación (11), se debe tener en cuenta la siguiente gráfica, esta grafica entregara el valor de la eficiencia según corresponda para el cálculo que se propone para la geometría de una aleta rectangular.

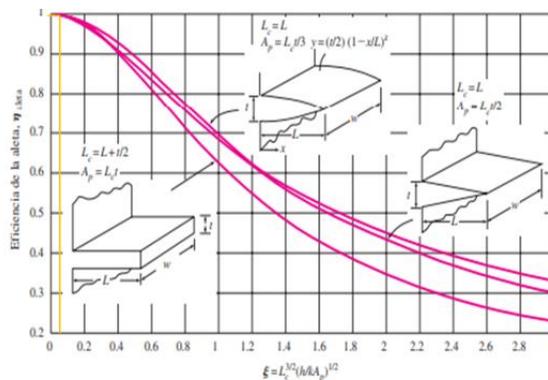


Figura 41 grafica de eficiencia para aletas rectangulares (Cengel, transferencia de calor y masa, 2007)

La ecuación utilizada se puede ver en la parte inferior de la Figura 38, el valor encontrado para las dimensiones de las aletas para el motor en estudio es de 0.05, que en la gráfica se traduce en una eficiencia cercana al 98% como lo muestran las marcas amarillas presentes en esta. (Cengel, transferencia de calor y masa, 2007).

Igualando la ecuación (1) y la ecuación (8) se obtuvo.

$$\frac{T_{inf2}-T_1}{R_{cond}+R_{conv}} = \dot{Q}_{libre\ de\ aleta} + \dot{Q}_{aleta} * \#aletas \quad (13)$$

Despejando T_{inf2}

$$T_{inf2} = h_1((A_{libre\ de\ aleta} + (A_{aleta} * \eta_{aleta})(\#aletas)) * (T_1 - T_{inf})(R_{conv} + R_{cond}) + T_1 \quad (14)$$

Dentro de esta ecuación se tiene el coeficiente de termoconvectividad de los gases de combustión, al ser un valor de difícil obtención por métodos teóricos, se obtuvo a partir de valores experimentales. (Izquierdo Millan & Leiro Gomez, 2014)

El valor obtenido para dicho coeficiente es de $39,99 \frac{W}{(m^2 * K)}$.

Introduciendo este valor en la ecuación número (2) referente a la resistencia por convección, se completan los términos y valores de la ecuación (14), para obtener finalmente el valor de la temperatura en la cámara de combustión.

Cabe resaltar que la ecuación (14), es la corrección de la temperatura que sensa el dispositivo tipo loop en el cilindro del motor, el cual al recibir aire de refrigeración desde

la hélice y estar fuera de la cámara no brinda un valor cercano al que se tiene de los gases de combustión.

En el marco de la seguridad operacional del banco de pruebas se realizó un elemento que logra contener las piezas móviles del producto en caso tal que ocurra una falla durante el funcionamiento. Dicho elemento es una jaula de contención la cual está compuesta por ángulos y malla de acero. Para la construcción de esta, se utilizaron ángulos de 1 ¼” para la estructura principal y para la reja malla de 2 pulgadas en calibre 8.

El primer procedimiento para la construcción de este elemento refiere a la estructura principal donde se cortaron los ángulos a la medida con una inclinación de 45° en sus extremos, esto con el fin de generar un ángulo recto entre las piezas que se desean unir como se muestra en la Figura 42.



Figura 42 Corte ángulo

Cabe resaltar que la unión de estas piezas se realizó por medio de soldadura tipo MIG, ya que con este tipo de soldadura el procedimiento finaliza inmediatamente se unen

las piezas, sin necesidad de limpiar la escoria, lo cual aumentaba el tiempo de trabajo en el taller (Ver Figura 43).



Figura 43 Unión de los ángulos

Acto seguido se realizó la instalación de la malla en la estructura principal, para lograr esto se cortó la malla a las medidas estipuladas, con la pulidora y posteriormente se unió por medio de soldadura tipo MIG. Como el encendido del motor se realiza manualmente se generó un corte adicional a la malla (Ver Figura 44 y Figura 45 Figura 44), con el fin de tener acceso a la punta del spinner donde se acopla el arrancador eléctrico.



Figura 44 Agujero Arrancador



Figura 45. Jaula de seguridad sin puertas

Ya con estos dos elementos unidos se instalan las puertas traseras de la jaula con bisagras, además se instala un porta candados con pasador para lograr encerrar el banco y a la vez tener acceso a este. Se instalan las ruedas que se logran ver en la Figura 47 las

cuales logran retirar el elemento de seguridad del banco y así tener un completo acceso a este en caso de hacerse necesaria esta operación (Ver Figura 46).



Figura 46 Instalación de puertas



Figura 47 Instalación de las ruedas

Teniendo en cuenta la presencia de las ruedas y que cabe la posibilidad del movimiento de la reja durante la operación, se instalan barras en los extremos laterales y el frontal evitando el contacto de la reja con cualquiera de los elementos presentes en el banco de pruebas (ver Figura 48).

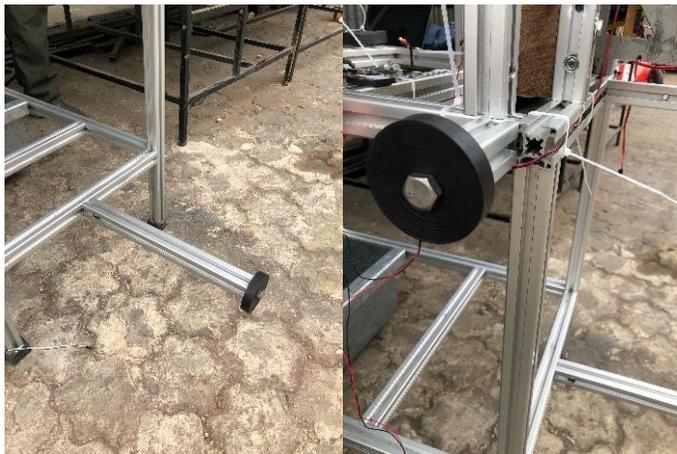


Figura 48 Barras de Seguridad

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Durante la actualización del banco de pruebas se realizaron diferentes actualizaciones y mejoras en pro al banco de pruebas, es por eso por lo que se planteó una metodología descrita en 4 fases, durante la primera fase se enfocó en la planta motriz cuyo objetivo era garantizar un correcto funcionamiento de la misma, durante este proceso se realizó una evaluación del estado en el que esta se encontraba y asimismo se realizaron las correcciones pertinentes. El primer inconveniente encontrado durante esta evaluación fue la hélice, ya que esta contaba con varios defectos, uno de ellos es que la pala número 3 de la hélice mostrada en la Figura 49 contaba con una fisura en el área de sujeción lo cual generaba una condición de inseguridad, otro de los inconvenientes es que las palas de esta hélice habían sido cortadas para cambiar su rendimiento, sin embargo esta modificación vuelve más complejo el proceso de balanceo de la misma y por último se encontró que la hélice contaba con una configuración pusher y al encontrarse el bloque del motor por detrás de la hélice en una posición estática no recibía el flujo de aire suficiente para mantenerse refrigerado.



Figura 49 Hélice descartada

Es por estas razones que se decide realizar el cambio de la hélice por una de una sola pieza lo cual evita diferentes inconvenientes ya que no requiere un ensamblado, disminuyendo los componentes y esto también ayuda a la reducción de peso, el cual también es reducido debido al material de esta ya que esta está elaborada en plástico reforzado con fibra de carbono con un núcleo de madera en la zona de sujeción. La nueva hélice tiene un diámetro de 24 pulgadas y un paso de 12 grados en configuración tractor, lo cual garantiza un flujo correcto hacia las aletas de refrigeración del motor; sin embargo, el cambio de esta configuración genero inconvenientes con el spinner de la planta motriz ya que este contaba con unos agujeros los cuales se adaptan al paso de las palas cuando estas se encuentran con una configuración pusher como se evidencia en la Figura 50.



Figura 50 Spinner pusher

Debido a esta situación es necesario construir un nuevo spinner que se adapte a la nueva hélice, con estos 2 componentes los cuales se logran ver en la Figura 51 se da por terminada la solución al primer inconveniente encontrado.



Figura 51 Hélice y spinner nuevos

Durante la primera fase también se realizaron correcciones en el carburador ya que durante la inspección del motor se encontró que al ajustar las agujas de máximas y mínimas la maquina no evidenciaba respuesta la modificación lo cual obligo a hacer una indagación

más profunda en donde se encontró que el dispositivo presentaba obstrucciones en el Venturi y se encontraba mal armado, es por esto que se le realizó el mantenimiento adecuado desarmando del carburador, limpiando todas las piezas y volviendo a armarlo de manera adecuada como se mostró en la Figura 27.

Continuando con la segunda fase de la metodología propuesta se realizó una revisión a la estructura del banco, durante este análisis se encontró inestabilidad y altas vibraciones en el banco las cuales fueron solucionadas aumentando la masa del conjunto, para poder lograr este aumento de masa se diseñó y fabricó un recipiente de fácil remoción el cual se logra ver en la Figura 29 en donde se puedan almacenar lastres.

Posteriormente a la implementación del recipiente se siguieron evidenciando ciertas vibraciones, estas eran causadas por los rieles en los cuales se alojaba la pared de fuego, ya que estos le daban un grado de libertad al motor, para erradicar este problema se desinstalaron los rieles y se instaló una nueva pared de fuego hecha de zapan el cual tiene la propiedad de absorber las vibraciones, además a esto se instalaron elastómeros en todas las juntas de la bancada y de la pared de fuego para que actúen como amortiguadores mitigando vibraciones. Esta modificación se logra apreciar en la Figura 52.

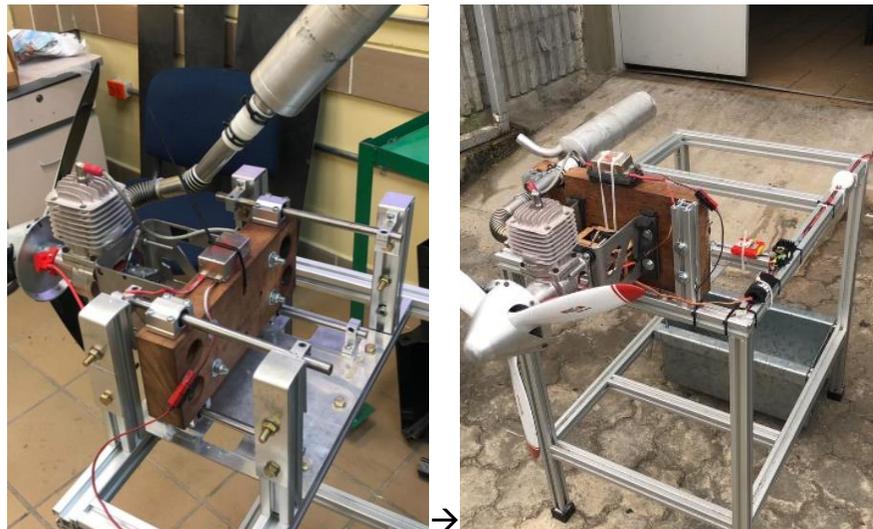


Figura 52 Remoción de Rieles

Continuando con la tercera fase de la metodología, se realizó la actualización de todo el sistema de adquisición de datos, se retiraron todos los sensores instalados anteriormente y se instaló el sistema Elogger V4 de Eagle Tree Systems en donde se pusieron tres sensores de temperatura (salida de los gases de exosto, toma de entrada de aire y bloque del motor), un sensor de régimen de giro y un sensor de velocidad de aire el cual fue ubicado detrás de la hélice. Este sistema funciona a partir del software Data Recorder, el cual permite la visualización de los datos en tiempo real como se logra ver en la Figura 37.

Este sistema es capaz de grabar los datos sensados en un archivo .FDR , sin embargo, los datos arrojados no se logran interpretar de una manera sencilla, es por esto

que se desarrolló una Macro en el programa *Excel*, que permitirá reorganización de los datos con el fin de poder realizar un análisis de los parámetros obtenidos de una manera más sencilla, como prueba de esto se realizaron prácticas en el banco, tomando datos durante el funcionamiento del motor a diferentes posiciones del mando de potencia, como resultado de estas pruebas se obtuvo, como se muestra en la Figura 53, la variación del régimen de giro con respecto a la posición del mando de potencia, en esta grafica es posible evidenciar que las revoluciones por minuto del motor aumentan de una manera casi lineal con respecto a cómo se va abriendo la mariposa del acelerador, es decir, el aumento de potencia.

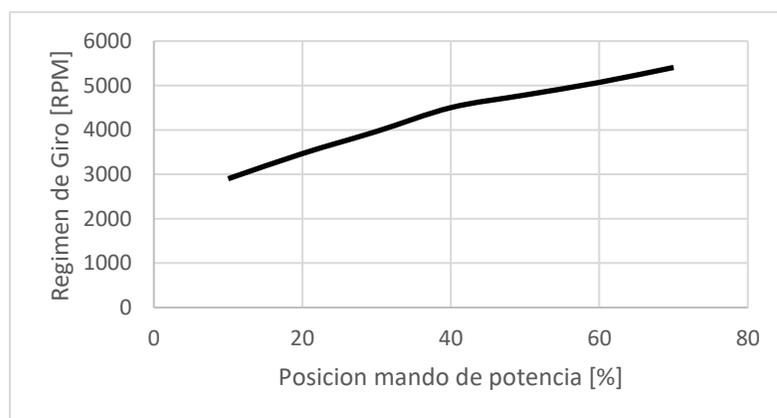


Figura 53 Régimen de Giro vs Potencia

Por otra parte, la

Figura 54, muestra el comportamiento de la temperatura de los gases de escape a medida que el régimen de giro va aumentando, se puede evidenciar que tiene un comportamiento

exponencial, sin embargo, la temperatura tiende a estabilizarse generando una asíntota en la gráfica alrededor de los 160°C.

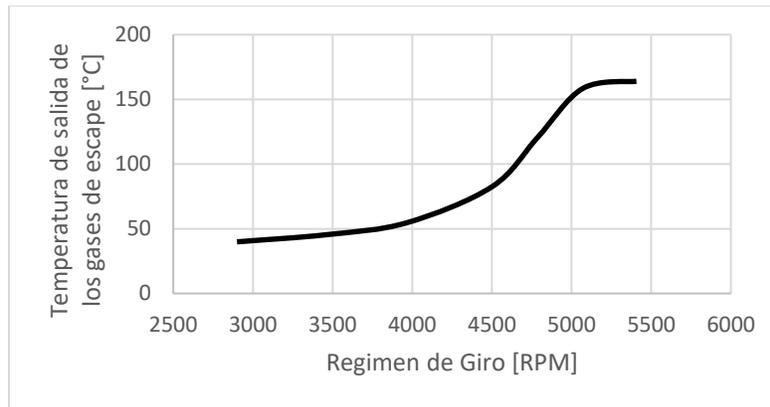


Figura 54 Régimen de Giro vs EGT

La

Figura 55 presenta el cambio de la temperatura del aire a la entrada del carburador con respecto al aumento del régimen de giro, sin embargo, esta no sufre ninguna alteración y tiende a mantenerse constante en un valor de temperatura ambiente.

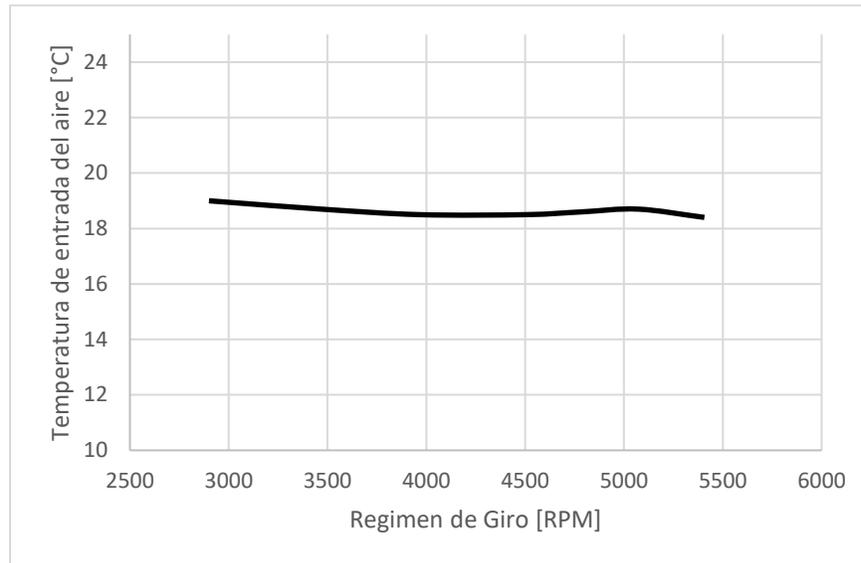


Figura 55 RPM vs Temperatura de entrada

En la *Figura 56* se logra ver el cambio de la temperatura sensada por el sensor B (línea continua) el cual está ubicado en la parte externa del bloque del motor, sin embargo, esta temperatura no corresponde a la temperatura interna de la cámara de combustión, es por esta razón por la que se determina hallar un factor de corrección por medio de un cálculo de transferencia de calor, el cual se puede ver en la sección de desarrollo de ingeniería del presente documento, al aplicar este factor, es posible visualizar el cambio de la temperatura de la cámara de combustión (línea punteada) y se logra ver que para esta planta motriz la temperatura de la cámara empieza a disminuir a partir de las 5000 RPM lo que significa que las mayores prestaciones de este son dadas a este régimen de giro.

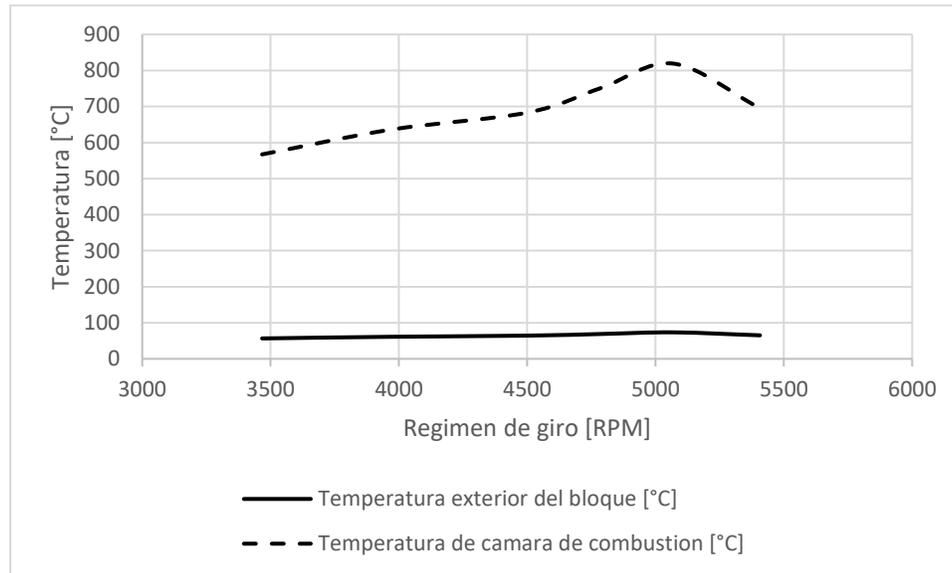


Figura 56 RPM vs Temperatura de camara de combustion

Finalmente, se realizó un análisis de seguridad de operación del banco de pruebas en donde se determinó diseñar y construir una jaula de seguridad la cual se puede evidenciar

en la

Figura 57 en donde se aloje el banco durante su funcionamiento.



Figura 57 Jaula de seguridad

A partir del desarrollo del proyecto mencionado anteriormente se desarrollaron dos guías de laboratorio, las cuales se pueden ver en los anexos 1 y 2, también se actualizaron los manuales de operaciones y mantenimiento los cuales se encuentran registrados en los anexos 3 y 4 respectivamente y por último se realizó un artículo científico publicable el cual se encuentra en el anexo 5.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Durante todo el desarrollo del proyecto se presentaron diferentes eventos y se realizaron diferentes análisis mediante los cuales se puede concluir lo siguiente:

- La construcción del banco de pruebas con los perfiles estructurales ranurados permite como producto una estructura liviana, ofreciendo una alta resistencia capaz de soportar las vibraciones y cargas cíclicas emitidas por el motor, así mismo el material de la perfilería es capaz de soportar los diferentes fluidos arrojados por el motor, como es la gasolina y el aceite quemado, evitando cualquier tipo de corrosión.
- Al eliminar el sistema de desplazamiento anteriormente diseñado e instalado previamente en el banco de pruebas, se pudo implementar un nuevo método de sujeción para el motor al banco, eliminando las altas vibraciones producidas por los rieles.
- Después de realizar la evaluación estructural en la primera fase planteada anteriormente, se concluye que al instalar el recipiente para el lastre aumentó la estabilidad del banco, haciendo que este fuese más estable por la ubicación y peso muerto agregado.
- El aumento de la masa en el sistema por medio del lastre instalado genera estabilidad en la estructura y disminución de vibraciones

- Se determinó que la implementación del Eagle Tree como sistema electrónico de adquisición de datos, permitió la utilización y generación de un software más amable con el usuario, siendo este el óptimo entre los diferentes programas disponibles para la visualización, adquisición y análisis de datos
- Se puede concluir que, con la utilización de elastómeros en las diferentes sujeciones, permiten la disminución de vibraciones debido a que actúan como un sistema amortiguador eliminando las oscilaciones no deseadas generadas por el movimiento recíprocante del motor.
- Gracias al desarrollo de las guías de laboratorio, el estudiante tendrá un mejor afianzamiento de conocimientos de la materia Motores a pistón, lo que permitirá un aprendizaje de manera didáctica y práctica.

Asimismo, con el fin de obtener una mejora y optimizar el funcionamiento del banco de pruebas se sugiere seguir las siguientes recomendaciones:

- Incorporar el sistema de análisis de gases de escape al banco de pruebas, ya que con la instalación de este se puede ampliar la carta de conocimientos aplicados en la utilización del banco de pruebas.
- En aras de generar una mejor lectura de datos se recomienda mejorar el sistema de instalación de los sensores de medición ya que estos son demasiado sensibles a

perturbaciones que pueden verse reflejadas en una mala toma de datos, así mismo esta optimización podrá alargar la vida útil de dichos elementos de medición.

- Con el fin de ampliar la gama de operación del banco de pruebas se puede realizar un análisis por elementos finitos con el fin de encontrar un rango de cargas que este pueda soportar y a partir de este hallazgo, generar una base de datos con los motores dos tiempos existentes para posibles optimizaciones de la estructura.
- Realizar un sistema de seguridad único para la hélice, con el fin de reducir el espacio ocupado por el banco de pruebas en su sitio de funcionamiento.
- Con el fin de aumentar la seguridad en la operación del banco de pruebas, se recomienda la instalación de un arrancador autónomo con el fin de evitar el contacto directo con la hélice ya que esta representa un riesgo potencial para la integridad del operador, así mismo este arrancador lograra mejorar la vida útil del motor ya que los intentos fallidos al encenderlo generar cargas excesivas y excesos de combustible en la cámara.

REFERENCIAS

- Eagle Tree Systems. (2008). *Eagle Tree Systems*. Obtenido de <https://www.eagletreesystems.com/Manuals/airspeed-v3.pdf>
- Airspeed Microsensor V3*. (s.f.). Obtenido de <https://www.getfpv.com/airspeed-microsensor-v3.html>
- Alzate Pardo, E. A., & Vargas Moreno, A. O. (2004). *Diseño y construcción de un Banco de pruebas para turbocargadores, accionados por medio de una cámara de combustión*. Bogotá: Editorial Bonaventuriana.
- ASALE, R. (2001). *Automóvil*. Obtenido de «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario: <http://dle.rae.es/?id=4Tpk0J8>
- ASM MATERIAL DATASHEET. (s.f.). *ASM.MATWEB.COM*. Obtenido de <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA7075T6>
- CARMAN, G. (2016). *Motores cuatro tiempos vs. motores dos tiempos*. Obtenido de Grupo CARMAN: <https://grupocarman.com/blog/motores-cuatro-tiempos-y-dos-tiempos/>
- Castellanos, J. M., Hernandez Rueda, A., & Portillo Ortega, C. L. (2011). *Diseño y construcción de un banco de pruebas de un motor diesel*. Bucaramanga.
- Cengel, Y. (2007). *transferencia de calor y masa*. Mexico,D.F.: Mc Graw Hill.
- Cengel, Y. (2015). *Termodinamica*. Nueva York: McGraw-Hill Education.

- Cortes, J. G., & Puentes Rincón, E. J. (2008). *Diseño conceptual de un banco de pruebas para su GTCP 85-98 de aviones Mc Donnell Douglas Serie 83*. Bogotá: Editorial Bonaventuriana.
- Desert Aircraft. (05 de 12 de 2012). *DA 85 Owner's Manual*. Obtenido de Desert Aircraft: https://cdn.shopify.com/s/files/1/0826/8595/files/DA85_MANUAL_12-5-2012.pdf?13583873435843125876
- Duarte, J., Amador, G., García, J., Fontalvo, A., Vásquez, R., Sanjuan, M., & Gonzalez, A. (2014). Auto-ignition control in turbocharged internal combustion engines operating with gaseous fuels. *Energy*, 137-147.
- E-ducativa. (2015). *5. Motor de dos tiempos*. Obtenido de E-ducativa.catedu.es.
- Escobar Garzón, A., Araujo Morán, M. I., & Otálora, A. F. (2011). *Puesta en funcionamiento y elaboración de procedimientos del banco turbo jet desarrollado por la Universidad de San Buenaventura*. Bogotá: Editorial Bonaventuriana.
- Escuela Colombiana de Ingenieria Julio Garavito. (2019). *Escuela Colombiana de Ingenieria Julio Garavito*. Obtenido de https://www.escuelaing.edu.co/es/laboratorios_programa?lab=5
- Ferreira Garzón, R. A., Jurado Ballesteros, E. R., & Ayala Gonzalez, J. A. (2008). *Diseño de un banco de pruebas para motores PTGT-3*. Bogotá: Editorial Bonaventuriana.

- García Rojas, C. E., & Escobar Garzón, A. (2010). *Diseño de un banco de pruebas para el motor de pistón ciclo otto de cuatro tiempos amc 200* . Bogotá: Editorial Bonaventuriana.
- Garzón Torres, R. E., Ramírez Rincón, J. A., & Martínez Henao, P. N. (2013). *Diseño y simulación de banco de pruebas de inyectores diesel para vehículos de carga pesada*. Bogotá: Editorial Bonaventuriana.
- Izquierdo Millan, M., & Leiro Gomez, I. (2014). *Recuperacion y revalorizacion del calor residual de un motor alternativo para produccion de frio*. Leganes, España: Universidad Carlos III de Madrid.
- León Marroquín, M. Á., Quintero Núñez, D. E., & Venegas Pereira, O. H. (2015). *Diseño de un banco de pruebas para un motor de combustión interna no mayor a 120 hp*. Bogotá: Editorial Bonaventuriana.
- M. D. (1979). *RESOLUCIÓN 2400 DE 1979*. Bogotá.
- Marquez Ortiz, J. H., Ramirez Laguna, F., & Tovar Diaz, A. (2013). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN BANCO DE PRUEBAS PARA MICROCONTROLADORES EN LENGUAJE DE ALTO NIVEL, DIRIGIDO A ESTUDIANTES DE EDUCACIÓN MEDIA TÉCNICA, INSTITUTOS TÉCNICOS, TECNÓLOGOS Y UNIVERSIDADES*. Girardot: Uniminuto.
- Mecafenix, S. ó.-I. (s.f.). <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sensor-optico/>.
Obtenido de Ingeniería Mecafenix.

Ministerio de minas y energías. (2003). Obtenido de

http://servicios.minminas.gov.co/minminas/kernel/usuario_externo_normatividad/form_consultar_normas.jsp?parametro=728&site=18

Muñoz, D. (2017). *Primeros Modelos a Vapor*.

Narváez Pallares, H., Villareal Acosta, S., Duarte Forero, J. E., & Rincón Montenegro, A.

(2017). Implementación de un banco para pruebas en motor Diésel monocilíndrico con aplicaciones investigativas. *Scientia et Technica Año XXII*, 330-340.

Numpaque, L. (s.f.). *Sensoricanumpaque.blogspot.com*. Obtenido de

<http://sensoricanumpaque.blogspot.com/2016/10/definicion.html>

Payri, F., Olmeda, P., Martín, J., & García, A. (2011). A complete 0D thermodynamic

predictive model for direct injection diesel engines. *Applied Energy*, 4632-4641.

Penagos Quintero, N. F., & González Torres, J. P. (2010). *Diseño de un sistema de*

medición digital, para los orificios presentes en los motores de aviación

Lycoming y Continental. Bogotá: Editorial Bonaventuriana.

Rojas Mora, D. G., Cano Bernal, S. F., & Mónico Muñoz, L. F. (2018). *Diseño y*

construcción de un banco motor para una planta motriz Desert Aircraft de 85

cm³. Bogotá: Editorial Bonaventuriana.

SAE. (s.f.). *SAE.org*. Obtenido de Certified Power (SAE J1349 and J1995) - SAE International

Sánchez Prieto, G., & Cifuentes Vecino, M. (2007). *Sistema de adquisición de datos de un Banco de prueba de motores a reacción para la empresa Aero-Industrias Leaver & Cia S.A.* Bogotá: Editorial Bonaventuriana.

Sensor De Temperatura: Características Y Funcionamiento. (s.f.). Obtenido de Mundo del motor: <https://www.mundodelmotor.net/sensor-de-temperatura/>

Villanueva Alzate, N., & Pérez Quiñones, G. (2007). *Diseño detallado de un banco de pruebas para las boquillas de inyección de combustible de las series del motor P W -100.* Bogotá: Editorial Bonaventuriana.