



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIDAD DE GESTIÓN DE  TECNOLOGÍAS

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE TECNÓLOGO EN MECÁNICA AERONÁUTICA
MENCION MOTORES**

**TEMA: COMPROBACIÓN DEL CAMBIO DE PASO DE LA
HÉLICE HARTZELL HC-E2YR-2RBS/F MEDIANTE LA
IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA LA
UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS**

AUTOR: FELIPE DANIEL IÑIGUEZ MACAS

DIRECTOR: TLGO. ALEJANDRO PROAÑO

LATACUNGA

2016



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN MOTORES

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**COMPROBACIÓN DEL CAMBIO DE PASO DE LA HÉLICE HARTZELL HC-E2YR-2RBS/F MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS**”, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos, y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **FELIPE DANIEL IÑIGUEZ MACAS** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, noviembre del 2016.

Tlgo. Alejandro Proaño.

DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN MOTORES

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **FELIPE DANIEL IÑIGUEZ MACAS**, con cédula de identidad N° 1400540058, declaro que este trabajo de titulación “**COMPROBACIÓN DEL CAMBIO DE PASO DE LA HÉLICE HARTZELL HC-E2YR-2RBS/F MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS**”, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, contenido, legitimidad y peso científico, del presente proyecto de grado, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, noviembre del 2016.

FELIPE DANIEL IÑIGUEZ MACAS

140054005-8



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN MOTORES

AUTORIZACIÓN

Yo, **IÑIGUEZ MACAS FELIPE DANIEL**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la Institución el presente trabajo de titulación **“COMPROBACIÓN DEL CAMBIO DE PASO DE LA HÉLICE HARTZELL HC-E2YR-2RBS/F MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS”** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Latacunga, noviembre del 2016.

IÑIGUEZ MACAS FELIPE DANIEL

140054005-8

DEDICATORIA

El presente trabajo de va dedicado a mi familia, gracias al gran apoyo que recibí de manera incondicional en este arduo camino, de preparación y estudio, quienes supieron estar presentes para darme un impulso que en momentos hacía falta, Su tenacidad para motivarme a ser mejor y finalizar con un proceso que inicio años atrás.

Dedico de manera particular a mi hijo al convertirse en una fuente de inspiración para no dejar inconcluso este trabajo, para demostrar que con paciencia y dedicación a pesar de todas las adversidades presentadas siempre se puede encontrar una mayor fuente de motivación para cumplir con las metas establecidas.

A mis hermanos quienes de un modo u otro supieron darme ánimos impulsarme a seguir y no desmayar en momentos difíciles.

FELIPE DANIEL IÑIGUEZ MACAS

AGRADECIMIENTO

A mis padres por acompañarme, protegerme y ser razón de ser quien soy al día de hoy, gracias a su esfuerzo y dedicación en mi cuidado y preparación he llegado a donde estoy al día de hoy, han estado presente siempre apoyándome a pesar de mis decisiones de manera desinteresada como solo un padre y una madre pueden estar junto a su hijo.

A mi hijo Nicolás, por ser parte fundamental e impulsarme inconscientemente a ser una mejor persona y culminar los proyectos iniciados para demostrar que todo depende de la persistencia y perseverarían que uno ponga en lo que se ha propuesto.

A esta noble institución y a mis maestros quienes inculcaron en mi sus conocimientos y valores para ser un profesional a carta cabal, pero ante todo una persona de bien, consiente y responsable de mis acciones, y un agradecimiento especial al Tlgo. Alejandro Proaño tutor de este proyecto de grado.

A través de este largo proceso que de no ser por todos quienes supieron estar presentes y apoyarme de manera desinteresada agradezco por ayudarme a cumplir este desafío y ante todo esta etapa de vida, para pasar a una nueva etapa con mayores retos y responsabilidades.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	¡Error! Marcador no definido.
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO I	1
EL TEMA	1
1.1 El Tema.....	1
1.2 Antecedentes	1
1.3 Planteamiento del Problema	1
1.4 Justificación	2
1.5 Objetivo General	2
1.6 Objetivos Específicos.....	2
1.7 Alcance	3
CAPÍTULO II	4
MARCO TEÓRICO	4
2.1 Hélice	4
2.1.1 Tipos de hélice.....	6
2.1.2 Hélices de paso fijo	6

2.1.3 Hélice de paso variable.....	6
2.1.4 Componentes de una hélice	7
2.2 Descripción de la hélice HC-E2YR-2RBS/F.....	7
2.4 Mecanismo de cambio de paso	11
2.5 Bancos de comprobación	14
2.6 Tipos de ensayos de hélices.....	16
2.6.1 Líquidos penetrantes	16
2.6.2 Partículas magnéticas.....	17
2.6.3 Ultrasonido.....	17
CAPÍTULO III.....	19
DESARROLLO DEL TEMA.....	19
3.1 Elementos a Implementar	19
3.2 Elaboración de planos del Banco de pruebas.....	20
3.2.1 Planos del Banco de Pruebas.....	21
3.2.2 Adquisición de materiales	23
3.3 Proceso de construcción.....	24
3.4 Pruebas operacionales	27
3.5 Manuales	29
3.6 Análisis económico	31
3.6.1 Presupuesto Inicial.....	31
3.6.2 Costos Primarios.....	31
3.6.3 Costos Secundarios	33
3.6.4 Costos totales	33
CAPÍTULO IV	34
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	34

4.1 Conclusiones	34
4.2 Recomendaciones	35
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
ANEXOS.....	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Identificación del modelo de la Hélice	9
Tabla 2	Descripción de la Hélice HC-E2YR-2RBS/F.....	9
Tabla 3	Presión de trabajo del Motor IO-540-C4B5	19
Tabla 4	Codificación del manual	29
Tabla 5	Costos de materiales.....	32
Tabla 6	Costos de mano de obra	32
Tabla 7	Total gastos primarios	32
Tabla 8	Costos secundarios	33
Tabla 9	Costos secundarios	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Hélice de madera.....	4
Figura 2 Hélice moderna.....	5
Figura 3 Hélice HARTZEL HC-E2YR-2RBS/F del avión PIPER AZTEC .	8
Figura 4 Gobernador en condicion de velocidad.....	11
Figura 5 Gobernador en condición de baja velocidad.....	12
Figura 6 Gobernador en estado de sobre velocidad	13
Figura 7 Gobernador de embanderamiento	14
Figura 8 Gobernador Sincronizador.....	14
Figura 9 Bomba Hidráulica	20
Figura 10 Punta de cigüeñal de motor Lycoming.....	21
Figura 11 Diseño del eje para un banco de pruebas	21
Figura 12 Simulación fuerzas aplicadas al eje	22
Figura 13 Simulacion de fuerzas.....	22
Figura 14 Manómetro.....	23
Figura 15 Eje donde se posara la hélice	25
Figura 16 Soporte para el banco de pruebas.....	25
Figura 17 Porceso de pintura del equipo de comprobación	26
Figura 18 Acabado final de pintura del equipo.....	26
Figura 19 Equipo completamente ensamblado.....	27

RESUMEN

El presente trabajo nace de la necesidad en la Unidad de Gestión de Tecnologías de aumentar la cantidad de material **didáctico** existente destinado a impartir clases prácticas de manera que exista una mejor asimilación por parte de los estudiantes y una mayor facilidad para los docentes de impartir los conocimientos al contar con recursos que faciliten la **instrucción**. Este equipo no se limitara exclusivamente a un solo modelo de hélice tipo **HARTZELL**, debido a que en él se podrá verificar la operación de las diferentes hélices que operan en los motores LYCOMING IO-540, pudiendo ser estas hélices de dos o más palas, y también teniendo la capacidad de realizar pruebas operacionales en otras marcas de hélice que trabajen en el tipo de motor mencionado. Se elaboró los planos para simular el eje del motor en mención y se realizó los cálculos y **simulaciones** pertinentes que se encuentran en el presente trabajo. En la **construcción** de este equipo se utilizó técnicas de suelda, torno y fresado, siguiendo normas de seguridad apropiadas. Con la realización del proyecto se cubre la necesidad de un banco de pruebas para la hélice HARTZELL HC-E2YR-2RBS/F, con la cual trabajara este equipo. Se detalla también un manual de operación del equipo implementado para de esta manera asegurar un buen uso del mismo, siempre que se sigan los procedimientos establecidos en el manual de operación del equipo y se tengan presentes normas de seguridad general, mismas que garantizaran la integridad tanto del personal como del material a ser utilizado.

Palabras clave

- Didáctico
- Asimilación
- Simulaciones
- Construcción
- HARTZELL

ABSTRACT

This work stems from the need in the Unidad de Gestión de Tecnologías to increase the amount of existing **teaching materials** designed to teach practical classes in order to have a better **assimilation** by students and easier for teachers to impart the knowledge to have resources that facilitate this instruction. This equipment should not be limited solely to a single propeller HARTZELL model, because it is able to verify the operation of the various propeller that operate in engines LYCOMING IO-540. These propellers may be two or more blades, and also having the ability to conduct operational tests on other brands propeller working in the mentioned engine. The planes were developed to simulate the mentioned motor shaft and the relevant calculations and **simulations** that are in the present work. In the **construction** of this equipment welding, lathe and milling techniques were used, following appropriate safety standards. With the completion of the project the need for a testing bench is covered for the **HARTZELL** HC-E2YR-2RBS/F propeller, with which this equipment will work. It also details an operation manual of the implemented equipment to ensure good use of itself, provided that the established procedures are followed which are in operation manual of the equipment and taking into account he present safety rules, which will guarantee the integrity of both staff and material to be used.

KEY WORDS

- Teaching materials
- Assimilation
- Simulations
- Construction
- HARTZELL

CAPÍTULO I

EL TEMA

1.1 El Tema

Comprobación del cambio de paso de la hélice HARTZELL HC-E2YR-2RBS/F mediante la implementación de un banco de pruebas para la unidad de gestión de tecnologías.

1.2 Antecedentes

En la Unidad de Gestión de Tecnologías se prepara futuros profesionales enfocados en la rama aeronáutica donde se desempeñaran realizando diversas tareas, para lo cual requiere contar con material didáctico adecuado para poder impartir de una manera más apropiada las clases a los estudiantes, y de esta manera sentar buenas bases de conocimiento para una futura inserción profesional.

La amplitud de tareas que desarrolla un Técnico Aeronáutico requiere de una gran pericia y habilidad, al ser tareas delicadas, por lo que los docentes requieren de una mayor variedad de equipos con los cuales impartir sus conocimientos. Por tal razón se vuelve necesario la implementación de un banco de pruebas para una hélice de funcionamiento Oleo – neumático.

1.3 Planteamiento del Problema

En la Unidad de Gestión de Tecnologías se cuenta con diversos laboratorios con equipos y bancos de comprobación para desarrollar las clases y de esta manera impartir los conocimientos por parte de los docentes a los estudiantes, estos equipos requieren actualización para un mejor desempeño tanto de docentes como de estudiantes.

Debido a los costos de los equipos de comprobación utilizados en el área aeronáutica, y a su vez la delicadeza de estos, se vuelve imperante la necesidad de desarrollar habilidades en el estudiante para que una vez en el ámbito profesional no se tenga percances y pueda desenvolverse de una manera óptima en las funciones a las que sea asignado.

1.4 Justificación

La carrera cuenta con varios laboratorios en los cuales se ejecutan prácticas por parte de los estudiantes, en las cuales se van desarrollando las habilidades de los mismos para su posterior uso en el ámbito profesional. A estos equipos se implementó un banco de comprobación de cambio de paso de una hélice HARTZELL.

Este equipo tiene como finalidad realizar la verificación de operación de la hélice HARTZELL, la cual trabaja de manera Oleo – Neumática, y esta es de mucha importancia para los estudiantes, ya que las hélices de este tipo son ampliamente utilizadas en el área de aviación menor a nivel nacional, de esta manera se formara de mejor manera a estudiantes para que puedan desenvolverse en esta área.

1.5 Objetivo General

Implementación de un equipo de comprobación de cambio de paso de la hélice HARTZELL HC-E2YR-2RBS/F, acorde a las descripciones operacionales del fabricante establecido en el Propellers Owner's Manual para la Unidad de Gestión de Tecnologías.

1.6 Objetivos Específicos

- Recopilar información técnica de equipos destinados a la comprobación de estados de hélices.
- Adquirir o construir un equipo de comprobación de componentes de la hélice HARTZELL HC-E2YR-2RBS/F.

- Implementar el equipo que permita cumplir los requerimientos descritos para la comprobación requerida.
- Realizar las pruebas operacionales del equipo de comprobación que se desea implementar en la Unidad de Gestión de Tecnologías.

1.7 Alcance

El presente trabajo de titulación comprendió la implementación de un equipo que permita montar una hélice HARTZELL HC-E2YR-2RBS/F para la verificación del cambio de paso de la misma, tarea que se desarrollará en los laboratorios de la Unidad de Gestión de Tecnologías, cabe acotar que este trabajo de titulación no comprende la rehabilitación de la hélice de darse el caso que durante las pruebas operacionales esta llegara a fallar o mostrar desperfectos; el equipo brindará presión hidráulica de acuerdo al manual del fabricante, para verificar estanqueidad en los sellos de la hélice.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Hélice

La hélice es un componente que tiene miles de años desde su primera aplicación en molinos de viento, y agua; con el transcurrir de los tiempos y las invocaciones tecnológicas que han aparecido en cada era, el ser humano ha adaptado este dispositivo para cubrir sus requerimientos, dando así una gran variedad de usos a la misma. En el caso competente al presente tema se enfoca en la aviación.

Una hélice es un conjunto mecánico, se pueden encontrar desde hélices de madera hasta las más modernas que son elaboradas con diferentes materiales en aleaciones especiales, las cuales optimizan sus propiedades al momento de ejercer su trabajo.



Figura 1 Hélice de madera

Fuente: (Hernández, 2012)



Figura 2 Hélice moderna

Fuente: (Avia Pro , 2016)

La manera más sencilla de explicar el funcionamiento de una hélice es simular un tornillo el cual se enrosca en un sólido, la diferencia con la hélice es que esta lo hace en el aire. La función de la hélice es el producir el impulso o empuje necesario para hacer que una aeronave pueda desplazarse, existen diversos tipos de hélices, de acuerdo al tipo de aeronave y motor con el que serán instaladas.

El principio por el cual se produce la sustentación de una aeronave, sustentación que radica principalmente en las alas, es el mismo principio que se aplica para la hélice, la hélice no es más que un conjunto de planos aerodinámicos unidos a un barril, el cual hace de eje en su movimiento para producir el empuje requerido.

La hélice esta acoplada directamente con el motor, de acuerdo al tipo de motor con el que está se encuentre operando podrá tener las mismas o diferentes RPM, esto varía en cada equipo para obtener un máximo rendimiento de la hélice, toda hélice está diseñada para entregar una

potencia específica a una cantidad de RPM precisa. La fuerza de propulsión de la aeronave se encuentra directamente relacionada con la cantidad de aire que mueve la hélice y a la velocidad con la que se hace este trabajo, esto está directamente relacionado con el diámetro, número, paso de las palas y velocidad de giro de la misma.

2.1.1 Tipos de hélice

A pesar de existir una gran variedad de hélices, sea por su número de palas, materiales. Estas se clasifican en hélices de paso fijo y hélices de paso variable. El paso de la hélice viene a ser el ángulo formado por la línea recta que une el borde de ataque con el borde de salida de cada pala.

2.1.2 Hélices de paso fijo

En esta clasificación se encuentran aquellas hélices que mantienen un mismo ángulo en todos los regímenes de vuelo, esto hace que su eficacia sea limitada para ciertas condiciones de vuelo mientras que en otras condiciones sea óptimo su rendimiento, una hélice de paso fijo viene a ser similar a una caja de cambios de un vehículo con una velocidad constante, compensando la falta de eficacia con una sencillez de funcionamiento y mantenimiento.

2.1.3 Hélice de paso variable

Este tipo de hélice, permite al piloto ajustar el paso, acomodándolo a las diferentes fases de vuelo, con lo cual obtiene un rendimiento óptimo en todo momento. El ajuste se realiza mediante la palanca que acciona un mecanismo que puede ser mecánico, hidráulico o eléctrico. En algunos casos la palanca solo tiene dos posiciones: paso corto es decir menor ángulo de las palas y paso largo es decir mayor ángulo de las palas, pero lo más común es que se pueda seleccionar cualquier paso comprendido entre un máximo y un mínimo.

2.1.4 Componentes de una hélice

La hélice se compone de diferentes partes, las cuales trabajan en armonía para obtener un óptimo desempeño al momento de realizar su trabajo, los diferentes componentes que posee dependerán del tipo de hélice, de acuerdo a la clasificación anterior. De acuerdo al tipo que sea puede tener un mayor o menor número de partes. Una hélice de paso fijo tendrá menos componentes internos que una de paso variable, esto en el interior de la misma.

En general todas las hélices poseen los mismos componentes, cambiando en cada una de estas la complejidad de los mismo de acuerdo a su operación, las partes principales de una hélice son barril, palas y cúpula; tanto palas como cúpula están sujetas al barril, este es el que a su vez une la hélice como tal al motor.

El gobernador a pesar de no ser parte integral de la hélice se considera parte del conjunto de la misma, debido a que por medio de este componente se puede controlar el cambio de ángulo de las palas de acuerdo a los requerimientos que se tenga, hay que tener en cuenta que no todos los motores que operan con hélices cuentan con gobernador al ser este componente de uso exclusivo de sistemas de hélices de paso variable. (Muñoz Miguel Angel, s.f.)

2.2 Descripción de la hélice HC-E2YR-2RBS/F

Las hélices HARTZELL son fabricadas en Estados Unidos, su casa constructora tiene una larga historia en lo que refiere a la producción de hélices, teniendo en cuenta que han elaborado desde hélices de madera hasta las más modernas con materiales compuestos. En el caso que concierne a este tema se trata del modelo HC-E2YR-2RBS/F, la cual es instalada en la gran mayoría de aeronaves PIPER en el modelo PA-23-250 y PA-E23-250 AZTEC.



Figura 3 Hélice HARTZEL HC-E2YR-2RBS/F del avión PIPER AZTEC

La hélice HARTZELL HC-E2YR-2RBS/F es una hélice de velocidad constante, de efecto simple y accionado de forma hidráulica. La mayor parte de estas hélices son utilizadas en aeronaves equipadas con motores recíprocos, y en algunos casos se las instala en motores turbo hélice. Cuando se menciona que es una hélice de efecto simple quiere decir que esta hélice no puede ser puesta en reversa, esto quiere decir variar el ángulo de las palas para que el empuje sea negativo, esto es utilizado por los pilotos cuando están realizando aterrizajes para disminuir la distancia de frenado del aeronave.

El estar accionada de forma hidráulica indica que para variar el paso o ángulo de las palas requiere de presión hidráulica que proviene del motor y es regulada por el gobernador de la hélice, el cual es controlado desde la cabina de mando por el piloto.

Tabla 1

Identificación del modelo de la Hélice

NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN
HC	Hélice controlable
E	Barril extendido
2	Número de palas
Y	Varilla de cambio de paso en Y, palas de aluminio, brazo de cambio de paso integral
R	Brida del barril para motor LYCOMING
2	Velocidad constante, embandera miento, presión de aceite para disminuir el ángulo, carga de aire y resorte para mayor ángulo o embanderar(algunas excepciones), puede o no puede tener contrapesas para embandera miento/ángulo alto
RBS	Modificaciones menores
F	Varilla de cambio de paso larga en Y

Fuente: (Hartzell Propeller Inc., 2013)

Tabla 2

Descripción de la Hélice HC-E2YR-2RBS/F

DESCRIPCIÓN	VALOR
Diámetro	77.0" a 76.0"
Ángulo de bloqueo de inicio	20.0 ± 1.5
Ángulo alto/bandera	80.0 ± 1.0
Ángulo de paso bajo	14.5 ± 0.2
Estación de referencia	30
Potencia	250HP a 2575RPM
Motor	IO-540-C4B5

Fuente: (Hartzell Propeller Inc., 2013)

Un sistema de hélice de velocidad constante es controlado por un dispositivo sensor de velocidad del motor (gobernador), el cual permite mantener la velocidad constante en ambos tanto motor como hélice; al variar el ángulo de ataque de las palas de la hélice. El gobernador utiliza una

bomba de aceite interna, que es impulsada por el motor, esta bomba incrementa o disminuye la presión de aceite que va dirigida hacia la hélice, permitiendo de este modo controlar el ángulo de las palas para de esta manera mantener una velocidad constante.

El cambio de ángulo de las palas es efectuado la acción de un pistón que está colocado en un cilindro montado en el barril de la hélice, el movimiento del mismo es efectuado por el cambio de presión hidráulica. El movimiento lineal del pistón es transmitido a cada pala por medio de varillas de cambio de paso. El punto de cambio de paso se encuentra en la base de cada una de las palas, este está en contacto con las varillas de cambio de paso; y la rotación de cada pala para el cambio de paso esta sujeta por el barril de la hélice mediante un cojinete retenedor. Las fuerzas de la hélice, consisten de:

- Acción mecánica del resorte
- Carga de aire del cilindro
- Contrapesas
- Momento de torsión centrífuga en las palas

Todas estas fuerzas en una variedad de combinaciones que estas presentes constantemente mientras la hélice se encuentra operando. La suma de estas fuerzas es contrarrestada por una fuerza hidráulica variable, la cual proviene de la presión de aceite abastecida por el gobernador. Las fuerzas de la hélice, contrarrestadas por las fuerzas hidráulicas producen que las palas de la hélice incrementen, disminuyan o mantengan la configuración de ángulo deseada.

La presión de aceite del gobernador es abastecida por el motor hacia el cilindro a través de la varilla de cambio de paso, de esta manera se aumenta o disminuye el volumen de aceite del cilindro por ende incrementando el ángulo de las palas para reducir la RPM del motor, o reduciendo el ángulo para aumentar las RPM. Por medio del cambio de ángulo de las palas el gobernador mantiene constantes RPM dentro de los límites, independientemente de la regulación del acelerador del motor.

2.4 Mecanismo de cambio de paso

El mecanismo de cambio de paso es un Gobernador, el cual consiste básicamente en un dispositivo sensor de revoluciones por minuto (RPM), y una bomba de aceite de alta presión. En un sistema de hélice de velocidad constante, la función del gobernador es responder a variaciones de RPM aumentando o disminuyendo la presión de aceite que está dirigida hacia la hélice, la cual se encuentra en el cilindro o barril de la misma.

El gobernador es controlado desde la cabina de mando y es configurado de acuerdo al régimen de vuelo u operación que sea requerido, manteniendo de esta manera las RPM constantes del motor, para conseguir este resultado, el cambio de presión de aceite en la hélice produce un cambio de ángulo de las palas de la hélice para de esta manera obtener el resultado deseado y mantener la velocidad constante.

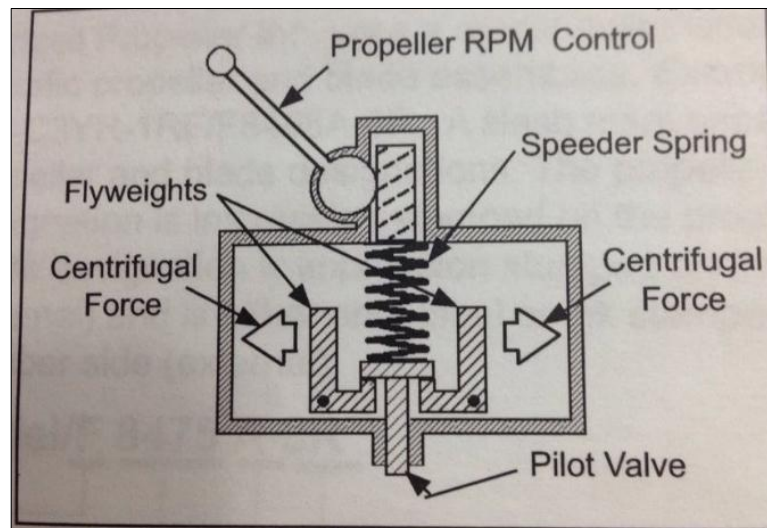


Figura 4 Gobernador en condición de velocidad

Fuente: (Hartzell Propeller Inc., 2013)

Cuando el motor está operando a las RPM ajustadas por el piloto usando el control de cabina, el gobernador está operando en velocidad. Esto quiere decir que la fuerza centrífuga que actúa sobre el resorte de velocidad que

controla las contrapesas que mantienen la válvula piloto que restringe o permite el paso de aceite desde el motor hacia la hélice se mantiene bloqueado, como se demuestra en la figura 4.

Cuando las RPM a las que está operando el motor son más bajas de lo configurado por parte del piloto el gobernador se encuentra en condición de baja velocidad, en este estado la contrapesas que se inclinan hacia adentro debido a que no existe suficiente fuerza centrífuga para superar la fuerza del resorte de velocidad. La válvula piloto es forzada a bajar por el resorte de velocidad, de esta manera cambia el flujo de aceite hacia la hélice permitiendo disminuir el ángulo de las palas de la hélice y aumentando las RPM del motor. Tal como se muestra en la figura 5.

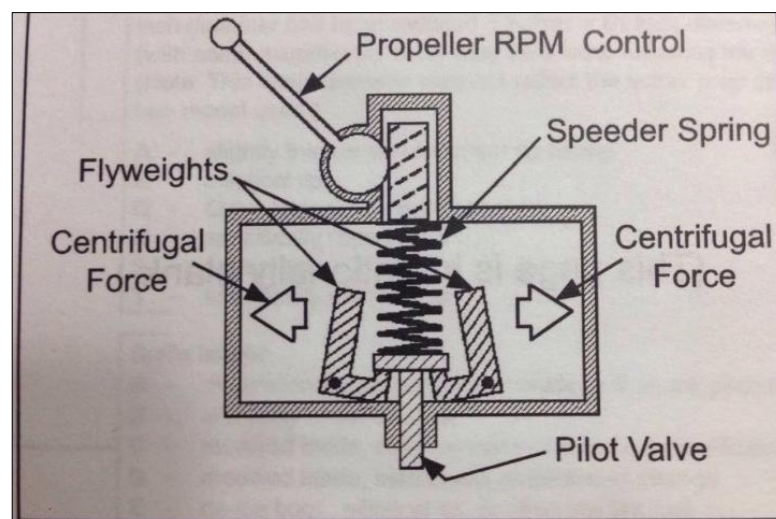


Figura 5 Gobernador en condición de baja velocidad

Fuente: (Hartzell Propeller Inc., 2013)

Cuando la RPM del motor sobrepasan lo configurado por el piloto en cabina el gobernador se encuentra operando en sobre velocidad, en esta condición la fuerza centrífuga que actúa sobre las contrapesas es mayor a la fuerza del resorte de velocidad, haciendo que las contrapesas se inclinen hacia afuera, al inclinarse de esta manera las contrapesas permiten que la válvula piloto se eleve, se logra cambiar el flujo de aceite dirigido hacia la

hélice permitiendo así el incremento de ángulo de las palas y disminuyendo las RPM del motor. Como se muestra en la figura 6.

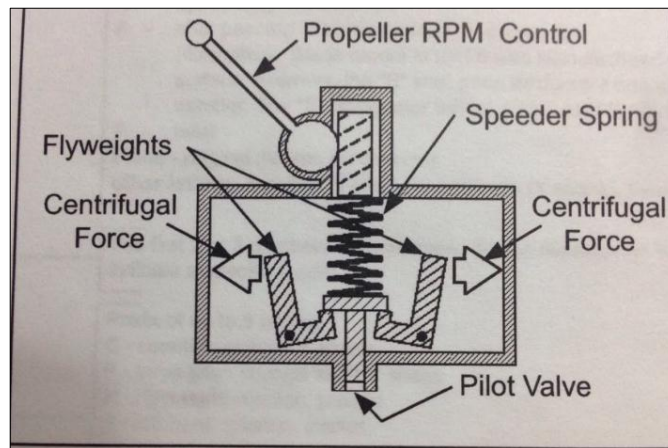


Figura 6 Gobernador en estado de sobre velocidad

Fuente: (Hartzell Propeller Inc., 2013)

Un gobernador de embanderamiento es similar a un gobernador de velocidad constante como los descritos anteriormente, lo que se adiciona en este, es una varilla de elevación. Cuando se desea embanderar la hélice, la varilla de elevación puede ser manipulada mecánicamente desde la cabina de control para levantar la válvula piloto. Al levantar la válvula piloto el aceite que se encuentra en la hélice sale para disminuir el ángulo de paso de las palas hasta que se embandere la hélice. Como se muestra en la figura 7.

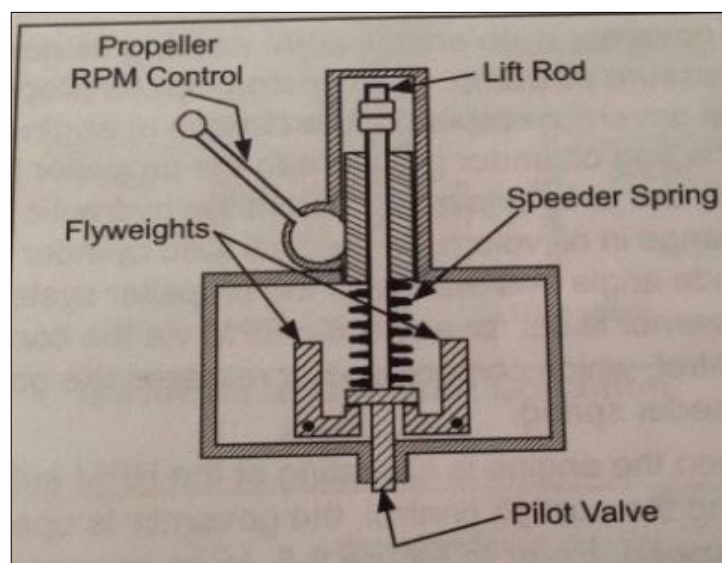


Figura 7 Gobernador de embanderamiento

Fuente: (Hartzell Propeller Inc., 2013)

Un gobernador también puede trabajar como componente de sincronización o sistema sincronizador de fase. Este tipo de sistema se utiliza en aeronaves multimotor para mantener a todos los motores operando con las mismas RPM. Este sistema no solamente mantiene consistentes las RPM de los motores, una de sus funciones es mantener las palas de las hélices operando en fase unas con otras. Ambos sistemas, tanto de sincronización como el sincronizador de fase dan como resultado la reducción del ruido como de vibraciones producidas por el motor. Ejemplo de este tipo de gobernador en la figura 8.

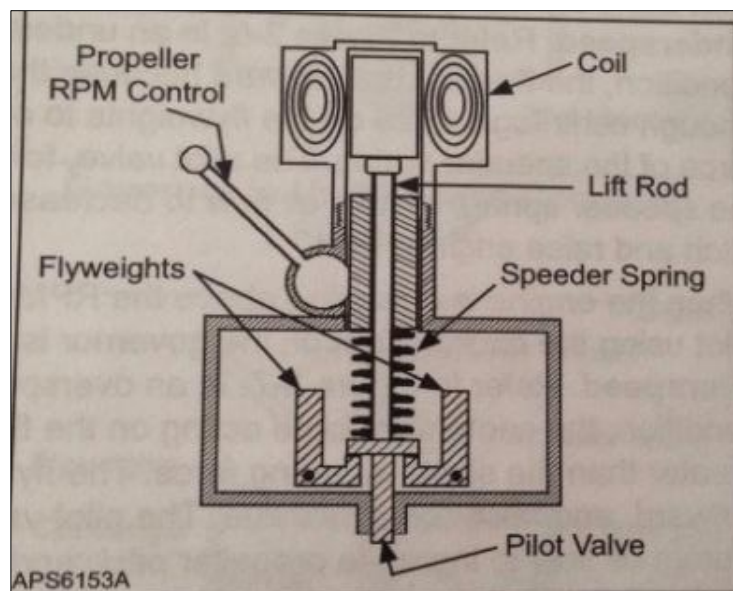


Figura 8 Gobernador Sincronizador

Fuente: (Hartzell Propeller Inc., 2013)

2.5 Bancos de comprobación

Un banco de pruebas es un equipo o plataforma para verificar las condiciones en que se encuentra un equipo o proyecto, existe una gran variedad de equipos o bancos de comprobación, los cuales están enfocados en el área específica en la cual van a ser utilizados. Por medio de estas plataformas se puede comprobar de manera técnica y rigurosa, en repetidas

ocasiones tanto equipos físicos como digitales dependiendo del trabajo realizado o resultado buscado.

Ocasionalmente un banco de pruebas es una herramienta virtual con la cual se puede simular un ambiente en donde se podrá realizar las correcciones de diseño de un diseño, modelo o proyecto. Generalmente estos sistemas se utilizan conjuntamente con herramientas de precisión con las cuales se realizan los cambios necesarios. Normalmente cuando se trata de equipos de comprobación que utilizan programas informáticos se complementan con herramientas manuales, estos programas suelen requerir ligeros cambios en su código para trabajar adecuadamente con el equipo o componente que se está comprobando.

El término se utiliza generalmente para ambientes de desarrollo de nuevos equipos o tecnologías, donde se está protegiendo los riesgos de producción, es un método para probar un módulo particular en forma aislada. Su principal función es verificar la seguridad y garantizar de esta manera que una vez en un ambiente real no representara riesgos para causar daños personales como materiales.

Estos dispositivos o conjuntos simulan condiciones reales en las que pueden encontrarse los componentes o sistemas que necesiten ser comprobados, para de esta manera verificar que el trabajo que realizaran una vez instalados y garantizar que los mis mismos realicen un trabajo seguro.

Los equipos de comprobación o bancos de pruebas se los utilizan ampliamente en el área aeronáutica, para verificar equipos o componentes previo a ser instalados para su operación normal, esta puede ser tanto en aeronaves de la fija como de ala rotativa. Los diferentes equipos de trabajo existentes pueden ser eléctricos, mecánicos, hidráulicos y neumáticos, y combinaciones entre estos, de acuerdo a los requerimientos que se tenga.

El banco de pruebas en el caso concreto de este trabajo, es un equipo hidráulico, el cual permitirá verificar el cambio de paso de una hélice

HARTZELL modelo HC-E2YR-2RBS/F, funcionara con una bomba hidráulica, la cual proporcionara la presión adecuada y requerida para realizar el cambio de ángulo en las palas y de esta manera verificar la condición de la misma.

2.6 Tipos de ensayos de hélices

Las pruebas que se realizan en las hélices son varias, estos se los realizan en el proceso de Overhaul de las mismas. Estos son ensayos no destructivos o NDI, trabajos que se ejecutan de acuerdo al Manual de Overhaul del fabricante y en cada componente tal cual esta descrito, esto puede ser debido al material con que está fabricado cada componente.

Los diferentes ensayos no destructivos que se realizan en una hélice comprenden inspecciones por: líquidos penetrantes, partículas magnéticas, ultrasonido, corrientes parasitas. Todos estos trabajos se los realizan para verificar la condición de los diferentes componentes y de esta manera determinar si los mismos están dentro de los parámetros para poder seguir operando o ser reemplazados. (TUV NORD CUALICONTROL, 2016)

2.6.1 Líquidos penetrantes

Las inspecciones por líquidos penetrantes están dentro de lo que corresponde a ensayos no destructivos, esta se utiliza para detectar discontinuidades en la superficie de los diferentes materiales que son examinados. Usualmente esta práctica se emplea sobre áreas de materiales de aleaciones no ferrosas, y menos usual en materiales ferrosos cuando en estos es poco factible aplicar inspección por partículas magnéticas, y en casos especiales se los puede aplicar en materiales no metálicos.

El procedimiento consiste en aplicar un líquido coloreado o fluorescente sobre la superficie que se va a examinar, esta sustancia penetrara en la más mínima discontinuidad que llegase a presentar el área donde fue aplicado debido al fenómeno de capilaridad, luego de un tiempo determinado se

procederá a limpiar el excedente, posterior a esto se aplicara sobre esta superficie un revelador, mismo que absorberá el líquido que penetra en las discontinuidades y sobre la capa del revelador se delinea de estas. (Intertek Group, 2016)

2.6.2 Partículas magnéticas

Esta aplicación de ensayos no destructivos tiene como finalidad detectar discontinuidades superficiales y sub superficiales en materiales ferromagnéticos. Consiste básicamente en magnetizar el componente o parte a inspeccionar, sobre este se procederá a aplicar partículas magnéticas, las cuales consisten de polvo fino de limaduras de hierro, luego de lo cual se procede a evaluar la agrupación de las partículas en ciertos puntos. De acuerdo a cada material examinado son varios los defectos a buscar y las condiciones físicas del objeto de inspección.

Las partículas magnetizables deben ser de un tamaño pequeño para que se pueda tener una buena resolución, esto para que se puedan detectar defectos pequeños o profundos, puesto que cuanto mayor sea el tamaño de la partícula, mayor será el campo magnético necesario para girarla. Sin embargo no debe ser demasiado pequeña para que no acumulen las irregularidades de la superficie que tendría como consecuencia lecturas erróneas. Por lo que se usa en un mismo ensayo partículas pequeñas (de entre 1 μm y 60 μm) y grandes (desde 60 μm hasta 150 μm). Las partículas magnetizables se pueden aplicar en forma de polvo o en suspensión en un líquido. En este último caso, el líquido empleado puede ser: querosene, agua o aceite, entre otros. (LLOG SA de CV, 2011)

2.6.3 Ultrasonido

Este proceso es parte de las inspecciones no destructivas de tipo mecánico, su funcionamiento se basa en la impedancia acústica, la que se manifiesta como el producto de la velocidad máxima de programación del sonido y la densidad del material.

La inspección por ultrasonido es un método no destructivo en el cual un haz o un conjunto de ondas de alta frecuencia son introducidos en los materiales para la detección de fallas en la superficie y sub-superficie. Las ondas de sonido viajan a través del material disminuyéndose paulatinamente y son reflejadas a la interface. El haz reflejado es mostrado y analizado para definir la presencia y localización de fallas y discontinuidades.

El grado de reflexión depende grandemente en el estado físico de los materiales que forman la interface. Por ejemplo: las ondas de sonido son reflejadas casi totalmente en las interfaces gas/metal. Por otro lado existe una reflectividad parcial en las interfaces metal/sólido. Grietas, laminaciones, poros, socavados y otras discontinuidades que producen interfaces reflectivas pueden ser detectadas fácilmente. Inclusiones y otras partículas extrañas pueden ser también detectadas causando baja reflexión. (Cuautilán, 2010)

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.1 Elementos a Implementar

El equipo que se va a implementar requiere para su funcionamiento de una base en donde se alojara la hélice, y también la bomba hidráulica. La base está hecha en un material de hierro dulce, es un trípode el cual tiene en la parte superior la forma de un cigüeñal de motor LYCOMING IO-540-C4B5, este modelo de motor se instala en varios modelos de aeronaves, en esta caso particular corresponde a una PIPER PA23-250 Aztec "C".

Para la elaboración del banco de pruebas se requiere del diseño de un equipo el cual pueda soportar el peso de la hélice, y el mismo que se empotrara y permanecerá en un solo lugar, adicional a esto que por medio de este equipo se requiere poder enviar presión hacia la hélice que estará instalada para verificar el cambio de paso de la misma.

El equipo contara con una bomba hidráulica, la cual enviara la presión normal de trabajo con la que opera el motor en el cual se instala la hélice. Esta presión de trabajo se detalla en la figura 7, de acuerdo a la tabla del manual de Overhaul de este motor, la presión requerida para realizar el cambio de paso de la hélice es entre 75 a 85 psi, se detalla en la tabla a continuación.

Tabla 3
Presión de trabajo del Motor IO-540-C4B5

Motor	Presión de	Presión de	RPM
	Trabajo Normal Psi	Trabajo Relanti Psi	
IO-540-C,J	75 – 85	25	2575

Fuente: (TEXTRON Lycoming, 1974)

La bomba que abastecerá la presión requerida para simular la presión de trabajo del motor en cuestión, se encuentra alojada en la estructura, la bomba tiene un rango de presión de entre 0 hasta 6817 psi, siendo solamente requeridos hasta 85 psi de acuerdo al manual del motor, la presión a la que se produce el cambio de paso o ángulo de las palas de la hélice no será mayor a 85 psi, se instaló un manómetro para con este poder tener una indicación de la presión de trabajo.



Figura 9 Bomba Hidráulica

La forma de solventar los inconvenientes presentados en la implementación de este equipo radica en la inexistencia de dispositivos similares, se realiza el diseño de un aparato en el cual se pueda realizar esta verificación de operación de la hélice de manera segura, brindando las garantías necesarias para desarrollar la tarea sin contratiempo.

3.2 Elaboración de planos del Banco de pruebas

Para la elaboración de los planos del equipo a ser implementado se utiliza el Software de diseño y simulación Autodesk Inventor Profesional 2014, en este programa se realiza el esquema del banco de pruebas, de acuerdo a las medidas obtenidas de un cigüeñal del motor Lycoming IO-540-C4B5 en el que se encontraba instalada la hélice que será probada, cabe mencionar

que el banco de pruebas puede ser utilizado también con hélices que operen en motores Lycoming de la serie IO-540.



Figura 10 Punta de cigüeñal de motor Lycoming

3.2.1 Planos del Banco de Pruebas

En el diseño del equipo se utiliza como base un trípode adquirido, al cual se le añadirá el diseño del eje del cigüeñal, en este es donde se acoplara la hélice, las características del trípode que va a ser utilizar como base principal para este equipo, es que está elaborado con tubos de hierro dulce, se le añadirá únicamente la parte en donde se alojara la hélice, este será un componente de igual manera elaborado en hierro dulce. En la figura 11 se muestra el diseño del componente que simula el eje del motor Lycoming.

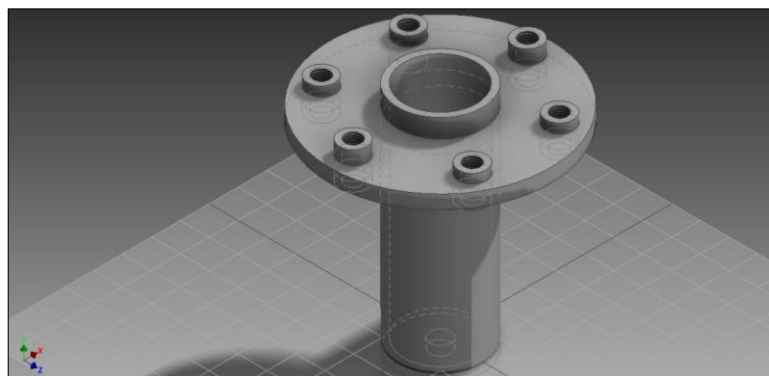


Figura 11 Diseño del eje para un banco de pruebas

Fuente: (Autodesk Inventor Professional, 2014)

Al aplicar las fuerzas que va a tolerar este equipo se realiza la simulación con una fuerza 10 veces mayor a la que soportara en la práctica para de esta manera tener un factor de seguridad aceptable y el equipo pueda brindar las garantías apropiadas para su posterior utilización con fines didácticos que es el motivo de esta implementación.

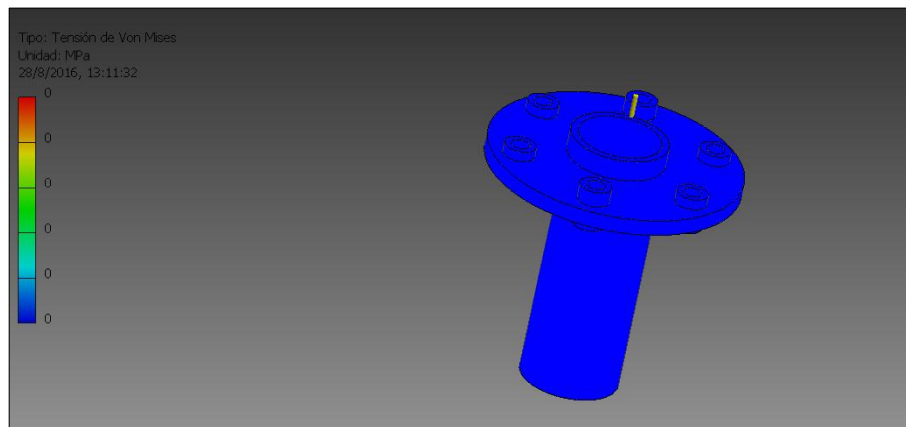


Figura 12 Simulación fuerzas aplicadas al eje
Fuente: (Autodesk Inventor Professional, 2014)

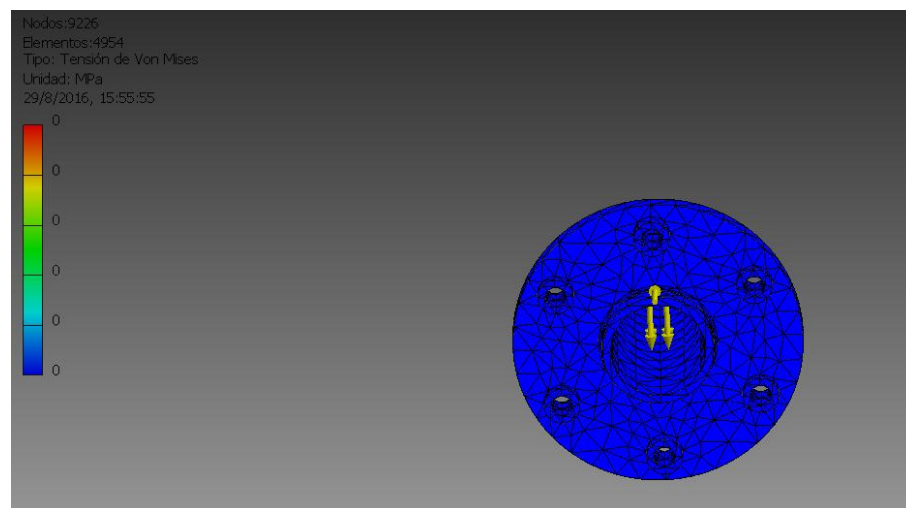


Figura 13 Simulación de fuerzas
Fuente: (Autodesk Inventor Professional, 2014)

Una vez realizado el plano del eje que simula el cigüeñal se procede a verificar que elementos adicionales se requiere, entre estos se encuentra el

trípode donde se ensamblara el eje, además de este el equipo demanda un soporte o alojamiento para la bomba hidráulica, la misma que ejecutara una función antes mencionada.

3.2.2 Adquisición de materiales

Para el proceso de elaboración del banco de pruebas se tuvo que realizar la adquisición de materiales para la posterior construcción, se realizó la compra de un trípode sobre el cual se procederá a ensamblar el eje construido en hierro dulce. Con esto se tiene que el banco de pruebas tiene como material base hierro dulce.

Debido a la dificultad de adquisición del material a ser utilizado en el tamaño adecuado para la elaboración, es necesario la compra de un bloque de hierro dulce que será la parte central del eje, una plancha de 1/2" de espesor del mismo material, para los alojamientos de los pernos de la hélice se tiene también como material acero de transmisión.



Figura 14 Manómetro

Se adquirió una bomba hidráulica la cual tendrá como función enviar en este caso liquido hidráulico a presión hacia la hélice, misma presión que tendrá como finalidad verificar el estado de operación del cambio de ángulos de las palas, esta bomba tiene un régimen de trabajo de 0 a 6800 psi, de los

cuales serán utilizados hasta 100 psi de acuerdo a los requerimientos del equipo. Es necesario a su vez para verificar la presión suministrada al sistema la implementación de un manómetro donde se pueda tener una lectura de la misma, este será de un rango de entre 0 y 140 psi.

3.3 Proceso de construcción

Durante el proceso de elaboración se dio forma al eje que simulara la punta del cigüeñal en un torno, a su vez se utilizó una plancha, la que servirá de superficie de sujeción para los alojamientos de los pernos de la hélice. Todos estos procedimientos se los realiza en un torno, para de esta manera obtener el resultado deseado utilizando las medidas adecuadas de acuerdo a los planos de diseño.

Una vez con la forma adecuada se procede a unir los diferentes componentes que conforman la punta del eje, se suelda la parte central del eje con el plato donde irán los alojamientos de los pernos, todo este proceso se lo realiza con suelda de arco normal, debido a que esta cumple con lo requerido y garantizara la seguridad del equipo.

Los alojamientos de los pernos de la hélice entran solamente a presión no requieren ser soldados ni fijados de otra manera, estos alojamientos son elaborados en acero de transmisión, se realiza orificios con una broca de medida 1/2" serán orificios que alojen a los pernos de la hélice, los cuales serán ajustados a una tuerca para no tener que fijar directamente los pernos al eje y de esta manera facilitar el montaje de la misma al banco de pruebas.

Una vez con el eje completo se procede a soldar el mismo al trípode que se adquirió ya elaborado donde se alojara todo el eje, mismo que soportará el peso del eje donde se instalara la hélice, y a su vez la bomba hidráulica. Este trípode está hecho con tubos de 6" para sus soportes, tubos de 4" para unirlos y darle estabilidad, en la parte inferior de los soportes se ha soldado planchas de hierro, las cuales servirán para sujetar este equipo en un lugar fijo.



Figura 15 Eje donde se posara la hélice

Una vez todos estos componentes ensamblados el banco de pruebas se encuentra completo en lo que corresponde a la estructura, se debe completar con la bomba hidráulica, previo a este proceso se deberá dar el acabado final a la estructura, la cual se encuentra como se puede apreciar en la figura 16. En el proceso final se lija toda la estructura, esto tiene como finalidad remover la corrosión presente por el ambiente en donde se elaboró la estructura, y preparar la superficie para que la pintura se adhiera de mejor manera.



Figura 16 Soporte para el banco de pruebas

Con el equipo lijado y pulido se encuentra en condiciones adecuadas para aplicar las capas de pintura necesarias, se utiliza como color de fondo amarillo, para posterior a esto aplicar como pintura de acabado final un color amarillo Caterpillar, cabe mencionar que la estructura será pintada en su mayoría, dejando libre de pintura la parte superior del equipo donde se alojara la hélice. Como se demuestra en la figura 18.



Figura 17 Proceso de pintura del equipo de comprobación



Figura 18 Acabado final de pintura del equipo

Una vez que al equipo se le aplicó la capa final de pintura tenemos el resultado deseado se realizó la instalación de la bomba hidráulica en el soporte destinado para la misma, para este fin se realizaron 4 orificios en la base donde esta será instalada, para sujetar a la bomba se emplearon abrazaderas metálicas, las conexiones para la transmisión de presión serán de tipo conexión rápida, puesto que el eje en donde irá la hélice es hueco y al momento de realizar la prueba deberá llenarse con líquido hidráulico, mismo que una vez realizada la prueba operacional deberá ser retirado para un uso posterior, y de esta manera evitar también la pérdida de líquido de la bomba.

El ensamblaje final de la bomba se procede a realizar instalando los fittings y conexiones hidráulicas adecuadas para una operación adecuada de la bomba, el conjunto del soporte con la bomba completan el conjunto del banco de pruebas para realizar el chequeo operacional del equipo. Para realizar una operación adecuada se debe seguir el procedimiento que se detallará más adelante. El equipo completo se muestra en la figura 19.



Figura 19 Equipo completamente ensamblado

3.4 Pruebas operacionales

Se realizan las pruebas operacionales del banco de pruebas, la finalidad del mismo es verificar la operación de una hélice, enfocados esencialmente

en el cambio de paso o ángulo de las palas de la misma, para esta comprobación se utiliza una hélice HARTZEL modelo HC-E2YR-2RBS/F, para la que está diseñado específicamente el banco, aunque cabe mencionar que no es exclusivo para este tipo de hélices, dado que hay más modelos que se utilizan en los motores LYCOMING de la serie IO-540.

Las pruebas operacionales se procede a realizar en busca de falencias en el diseño, sean estas en las dimensiones del equipo, resistencia del equipo al peso de la hélice que será verificada, hermetismo del mismo, para evitar fugas de presión en algún punto del banco, de presentarse alguna fuga de presión que se presente en la hélice ya no corresponderá al funcionamiento del banco de pruebas.

Previo a la instalación de la hélice, se procederá a llenar con líquido hidráulico el cilindro que está bajo el eje, este será el que ingresara en el barril de la hélice para realizar el cambio de paso, posterior a esto se instala la hélice, encajando perfectamente todos los pernos de sujeción en los orificios destinados a este fin.

Una vez instalados la hélice se procede a enviar presión hacia la hélice mediante la bomba manual, se censará la presión de ingreso al sistema por medio del manómetro instalado en la parte de ingreso al eje, esta presión no deberá ser mayor de 85 psi de acuerdo al manual del motor, se verifica el cambio de paso y los rangos de presión requeridos para obtener el cambio deseado desde la posición inicial hasta paso alto.

Una vez realizadas todas las verificaciones pertinentes de operación tanto de la hélice como del banco de pruebas, no se ha encontrado desperfectos que requieran acciones mayores, solventado todo y demostrando la operación efectiva de este equipo se encuentra apto para su operación con fines didácticos, el cual es su propósito.

3.5 Manuales


Se elabora los manuales para una operación adecuada de este equipo, para de esta manera prevenir posibles lesiones personales para quienes lo operen, además de esto se podrá prevenir el daño no intencional en la hélice instala por un mal uso del banco de comprobación. Se deberá seguir al pie de la letra las instrucciones detalladas en el manual que se muestra a continuación:

- Manual de Operación

Tabla 4

Codificación del manual

Título Manual	Código
Manual de Operación	MO-BPH-P

	MANUALES	Pág. : 1 de 1
MANUAL DE OPERACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS DE CAMBIO DE PASO DE HÉLICE HARTZELL		Código: MO-BPH-P
Elaborado por: Sr. Felipe Iñiguez		Revisión Nº: 01
Aprobado por: Tlgo. Alejandro Proaño		Fecha: 25/ 08/16
<p>1. OBJETIVO Detallar los procedimientos a realizarse con el Bance de Pruebas de hélice.</p> <p>2. ALCANCE Informar a quien opere el equipo los pasos a seguir para utilizar de correcta manera el equipo.</p> <p>3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alto 0,95 m • Rango de operación de la bomba 0 – 140 psi • Presión máxima recomendada de trabajo 100 psi <p>4. ANTES DEL USO</p> <ul style="list-style-type: none"> • Remueva cualquier impureza que pudiera presentarse en el interior del eje. • Llene de líquido hidráulico el cilindro del eje. • Realice el montaje de la hélice sobre el banco de pruebas. • Proceda a conectar la bomba hidráulica con el acople rápido en la parte inferior del eje. <p>5. DURANTE LA OPERACIÓN</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verifique que la presión en la línea sea 0 psi mediante el manómetro. • Proceda a enviar presión mediante la bomba manual, sin exceder los 85 psi. • Se observara el cambio de ángulo de las palas. • Una vez realizada la verificación aliviar la presión de la bomba mediante la llave manual en la bomba. <p>6. DESPUÉS DE LA OPERACIÓN</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desconectar la línea hidráulica. • Proceder a desmontar la hélice. • Retirar el líquido hidráulico remanente en el cilindro del eje. <p style="text-align: right;">Pág: 1</p>		

3.6 Análisis económico

A continuación, se procede a detallar los gastos realizados para la elaboración de este proyecto, iniciando desde el presupuesto inicial, hasta el costo total una vez culminado el proyecto.

3.6.1 Presupuesto Inicial

Como presupuesto inicial se tiene previsto realizar una inversión en el proyecto de grado, un valor no mayor a 929,00 dólares americanos, teniendo en cuenta que este valor fue solamente un estimado, como se detalla a continuación el valor real una vez ejecutado el proyecto fue diferente al establecido en el anteproyecto. Se tienen gastos primarios y secundarios, siendo todos estos de igual importancia, ya que en la elaboración de este proyecto todos los egresos realizados son relevantes para el resultado final.

3.6.2 Costos Primarios

En los gastos primarios se puede encontrar los egresos realizados en la adquisición de materiales y mano de obra necesarios para la elaboración del proyecto ejecutado.

Tabla 5
Costos de materiales

Cantidad	Descripción	Costo
1	Trípode	86,00
1	Eje base	215,00
3	Fittings bronce 7/16	6,88
1	Neplo roscado 7/16	1,72
1	Manómetro 0 – 140 psi	5,16
1	Bomba hidráulica 4Ton	154,80
½ litro	Pintura amarilla	3,87
½ litro	Pintura amarilla Caterpillar	3,87
2 litros	Solvente	2,58
Subtotal		479,88
I.V.A. (14%)		78,12
Total		558,00

Tabla 6
Costos de mano de obra

N°	Descripción	Costo
1	Suelda eje a trípode	17,20
1	Suelda base para bomba a trípode	4,30
Subtotal		21,50
I.V.A. (14%)		3,50
Total		25,00

Tabla 7
Total gastos primarios

Descripción	Costo
Costos de materiales	558,00
Costos de mano de obra	25,00
Total	583,00

3.6.3 Costos Secundarios

A continuación, se detallan los costos secundarios involucrados en la ejecución del proyecto.

Tabla 8
Costos secundarios

Descripción	Valor
Resma de papel	5,00
Impresiones	15,00
Internet	20,00
Anillado	4,00
Empastado	25,00
Subsistencias	150,00
Total	219,00

3.6.4 Costos totales

Costo total del proyecto de grado.

Tabla 9
Costos secundarios

Descripción	Costo
Costos primarios	571,00
Costos secundarios	219,00
Total	800,00

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Una vez obtenidos los manuales de operación de la hélice se determinó los equipos requeridos para la verificación del cambio de paso de hélice, se determinó la necesidad de la construcción de un banco de pruebas para el cambio de ángulo de las palas de la hélice.
- Se construyó un equipo de comprobación de cambio de paso para la hélice HARTZELL HC-E2YR-2RBS/F, utilizando información técnica, y material apropiado, realizándose a su vez los cálculos indispensables para su diseño y posterior fabricación.
- Al implementar un banco de pruebas en el bloque 42 de la Unidad de Gestión de Tecnologías, se puede realizar la verificación del cambio de ángulo de las palas de la hélice en prácticas de la asignatura Hélices y Rotores que se dicta en el sexto nivel de la Carrera de Mecánica Aeronáutica.
- Las pruebas operacionales del equipo fueron realizadas en un lugar cerrado con la iluminación adecuada, que permita apreciar de manera óptima el cambio de paso de las palas, y permitió determinar que el mismo se encuentra apto para el uso con fines didácticos en el Bloque 42 de la Unidad de Gestión de Tecnologías.

4.2 Recomendaciones

- Para precautelar la integridad física del personal, banco de pruebas y demás componentes físicos, se debe utilizar las herramientas adecuadas, y equipos de protección pertinentes.
- Se debe seguir los procedimientos establecidos en los manuales destinados a una tarea específica, en este caso la verificación del cambio de paso de la hélice, para obtener óptimos resultados.
- Para la ejecución de los cálculos de diseño requeridos para la elaboración de este proyecto, se requirió de un software de especializado en el diseño y simulación de partes y componentes en general, por lo que es necesario la enseñanza de aplicaciones de este tipo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Autodesk Inventor Professional. (2014). *Simulación eje*.
- Avia Pro . (2016). *Avia.Pro*. Obtenido de <http://es.avia.pro/blog/vint-samoleta-lopasti-samoleta-propeller>
- Cuautitlán, F. d. (2010). La Prueba de Ultrasonido. Cuautitlán, Ciudad de México, México: Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.
- Hartzell Propeller Inc. (2013). *Propeller Owner's Manual*. Piqua: Hartzell Propeller Inc.
- Hernández, J. F. (2012). *Universidad Católica de Pereira*. Obtenido de <https://www.google.com.ec/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjB59LgkKvOAhUJJR4KHehNCKsQjRwIBQ&url=http%3A%2F%2Fribuc.ucp.edu.co%3A8080%2Fjspui%2Fbitstream%2Fhandle%2F10785%2F1755%2FCDMDI325.pdf%3Fsequence%3D1&bvm=bv.12939>
- Intertek Group. (2016). *Intertek*. Obtenido de Ensayos no destructivos por líquidos penetrantes: <http://www.intertek.es/ensayos-no-destructivos/liquidos-penetrantes/>
- LLOG SA de CV. (2011). *LLOG*. Obtenido de Principios de Inspección por partículas Magnéticas: http://www.llogsa.com/Descargas/Ultratips/Ediciones/Utipsed_166.php
- Muñoz Miguel Angel. (s.f.). *Manual de Vuelo*. Obtenido de Nociones Básicas de Vuelo: <http://www.manualvuelo.com/ZIPS/Manual%20de%20vuelo.pdf>
- TEXTRON Lycoming. (Diciembre de 1974). *Overhaul Manual Direct Drive Engine*. Williamsport.
- TUV NORD CUALICONTROL. (2016). *TUV NORD*. Obtenido de Ensayos no Destructivos END: <http://www.tuv-nord.com/es/inspeccion-industrial-end/ensayos-no-destructivos-499.htm>

ANEXO