



**ESPE**

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**UNIDAD DE GESTIÓN DE  TECNOLOGÍAS**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ESPACIALES**

**CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA  
MENCION MOTORES**

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

**TEMA: “COMPROBACION DEL CAMBIO DE ANGULO DE LAS  
PALAS DE LA HELICE HARTZELL DEL AVION TWIN OTTER  
PERTENECIENTE AL ALA DE TRANSPORTES Nº 11”**

**AUTOR: GAÓN ANRANGO EDISON GERMAN**

**DIRECTOR: TLGO. JOHNATAN FERNANDO VALENCIA FUEL**

**LATACUNGA**

**2017**



## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS CIENCIAS ESPACIALES

### CARRERA DE MÉCANICA AERONÁUTICA MENCION MOTORES

#### CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**COMPROBACIÓN DEL CAMBIO DE ÁNGULO DE LAS PALAS DE LA HÉLICE HARTZELL DEL AVIÓN TWIN OTTER PERTENECIENTE AL ALA DE TRANSPORTES No. 11,**” realizado por el señor **EDISON GERMAN GAÓN ANRANGO**, 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 Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **EDISON GERMAN GAÓN ANRANGO** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 10 de Febrero del 2017

Atentamente,

---

JOHNATAN FERNANDO VALENCIA FUEL  
DIRECTOR



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS CIENCIAS ESPACIALES**

**CARRERA DE MÉCANICA AERONÁUTICA  
MENCION MOTORES**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **EDISON GERMAN GAÓN ANRANGO**, con cédula de identidad N° **040126140-9**, declaro que este trabajo de titulación **“COMPROBACIÓN DEL CAMBIO DE ÁNGULO DE LAS PALAS DE LA HÉLICE HARTZELL DEL AVIÓN TWIN OTTER PERTENECIENTE AL ALA DE TRANSPORTES No. 11”**, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, 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 mi virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

**Latacunga, 10 de Febrero del 2017**

-----  
EDISON GERMAN GAÓN ANRANGO

C.C. 040126140-9



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS CIENCIAS ESPACIALES**

**CARRERA DE MÉCANICA AERONÁUTICA  
MENCION MOTORES**

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **EDISON GERMAN GAÓN ANRANGO**, 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 ÁNGULO DE LAS PALAS DE LA HÉLICE HARTZELL DEL AVIÓN TWIN OTTER PERTENECIENTE AL ALA DE TRANSPORTES No. 11**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

**Latacunga, 10 de Febrero del 2017**

-----  
EDISON GERMAN GAÓN ANRANGO

C.C. 040126140-9

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo y a la vez un proyecto más de mi vida principalmente a DIOS, el Rey de Reyes, a ti NIÑITO DE TANFUELAN por haberme dado la vida, porque siempre me has ayudado en todo lo que necesité cuando me encontré en adversidades de las cuales pude superarlas sin ninguna dificultad y sobre todo permitirme el haber llegado a este momento tan importante de mi formación profesional. A mi hermosa y querida madre SONIA ANRANGO que siempre está conmigo apoyándome en todo, que con sus consejos me impulsa hacer alguien mejor en la vida. A mi hermoso y querido padre GERMAN GAÓN el cual, con su esfuerzo, su dedicación y amor en su trabajo me ayuda a seguir creciendo como un gran profesional. A mi hermoso y querido hermano KEVIN GAÓN que siempre me motiva a seguir y luchar por mis sueños para alcanzar el éxito.

A ellos que son el pilar fundamental de mi vida les dedico todo el esfuerzo, dedicación, amor, paciencia que sembré en todos estos tres años de carrera universitaria, porque logré formarme como un gran profesional y sobre todo como una gran persona.

Edison German Gaón Anrango

## AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a DIOS, el Rey de Reyes, a ti NIÑITO DE TANFUELAN por darme la vida y haberme permitido cumplir una meta más en mi vida.

A mi familia GERMAN GAÓN, SONIA ANRANGO Y KEVIN GAÓN que siempre me infunden valores éticos y morales, por ser el ejemplo de amor en familia, de lucha constante ante toda adversidad, y sobre todo por enseñarme esa gran virtud como es la humildad con la cual siempre recuerdo quien soy y de dónde vengo.

A todos esos amigos/as, conocidos/as que estuvieron ahí apoyándome en las situaciones malas y buenas, que con sus palabras me ayudaron a luchar siempre.

A todas esas personas que decían que no iba a lograrlo, fueron una gran motivación para luchar por esta meta y demostrarles que cuando uno quiere todo se puede lograr.

A los profesores que me impartieron sus conocimientos de una u otra manera para ir creciendo como un excelente estudiante, que me enseñaron la importancia del estudio el pilar fundamental para seguir preparándose cada día y convertirse en alguien exitoso.

Edison German Gaón Anrango

## INDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN.....	II
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....	III
AUTORIZACIÓN.....	IV
DEDICATORIA .....	V
AGRADECIMIENTO .....	VI
INDICE DE CONTENIDOS .....	VII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
RESUMEN .....	XV
ABSTRACT.....	XVI

### CAPÍTULO I

#### TEMA

1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.4 OBJETIVOS .....	3
1.4.1 OBJETIVO GENERAL .....	3
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
1.5 ALCANCE .....	4

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO

2.1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	5
2.1.1 AVIÓN TWIN OTTER .....	5
2.1.2 SERVICIOS DEL AVIÓN TWIN OTTER.....	6
2.1.3 MOTOR BÁSICO PT6A - 27 .....	6
2.1.4 HÉLICE HATZELL HC-B3TN-3D.....	7
2.2 FUERZAS QUE ACTÚAN SOBRE LA HÉLICE.....	9
2.2.1 FUERZA CENTRÍFUGA.....	9
2.2.2 FUERZA DE TRACCIÓN.....	10
2.2.3 FUERZA DE REACCIÓN .....	10
2.2.4 MOMENTO AERODINÁMICO DE TORSIÓN .....	11

2.2.5 MOMENTO CENTRÍFUGO DE LA PALA .....	11
2.3 TERMINOLOGÍA DE LA HÉLICE .....	12
2.3.1 ÁNGULO DE ATAQUE.....	12
2.3.2 ÁNGULO DE PALA .....	12
2.3.3 ÁNGULO DE HÉLICE .....	13
2.3.4 BORDE DE ATAQUE .....	13
2.3.5 BORDE DE SALIDA .....	14
2.3.6 CUERDA.....	14
2.3.7 ESPIGA DE LA PALA .....	15
2.3.8 PALA .....	15
2.3.9 PASO LARGO .....	15
2.3.10 PASO CORTO.....	16
2.3.11 PASO GEOMÉTRICO.....	17
2.3.12 PASO EFECTIVO .....	17
2.3.13 RESBALAMIENTO.....	17
2.3.14 PLANO DE ROTACIÓN.....	17
2.3.15 SECCIÓN DE LA PALA.....	18
2.4 SISTEMA DE HÉLICE .....	19
2.4.1 FINALIDAD DE LA HÉLICE .....	19
2.4.2 DESCRIPCIÓN .....	19
2.4.3 FUNCIONAMIENTO .....	20
2.5 COMPONENTES DE LA HÉLICE .....	21
2.5.1 LAS PALAS .....	21
2.5.2 ÁNGULO DE LA PALA.....	21
2.5.3 NOMENCLATURA DE LA PALA.....	22
2.5.4 EL CUBO .....	23
2.5.4.1 CONJUNTO DE LA CÚPULA O DOMO .....	23
2.5.4.2 CONJUNTO DE SEGURO DE PASÓ DE LA HÉLICE .....	23
2.5.5 BARRIL .....	24
2.6 CLASIFICACIÓN DE LAS HÉLICES SEGÚN SU GUIO DE PALA .....	25
2.6.1 HÉLICES DE PASO FIJO .....	25
2.6.1.1 HÉLICES DE PASO FIJO, PROPIAMENTE DICHAS .....	25
2.6.1.2 HÉLICES DE PASO AJUSTABLE .....	25
2.6.2 HÉLICES DE PASO VARIABLE .....	26



2.6.2.1 HÉLICES DE DOS POSICIONES .....	26
2.6.2.2 HÉLICES DE CONTROL MANUAL.....	27
2.6.2.3 HÉLICES DE VELOCIDAD CONSTANTE .....	27
2.6.3 HÉLICES CON SISTEMA DE EMBANDERAMIENTO.....	28
2.6.4 HÉLICES DE PASO REVERSIBLE.....	29
2.7 NOMENCLATURA DE LA HÉLICE HARTZELL HC-B3TN-3D.....	30
2.7.1 REGULADOR PRIMARIO .....	30
2.7.2 VÁLVULA DE REVERSA BETA.....	31
2.7.3 RANGO BETA DE LA HÉLICE .....	31
2.7.4 SISTEMA BACK-UP BETA .....	32
2.7.5 REGULADOR DE SOBRE VELOCIDAD DE LA HÉLICE .....	33
2.7.6 REGULADOR FUEL TOPPING .....	33
2.7.7 SISTEMA DE AUTO EMBANDERAMIENTO .....	34
2.8 OPERACIONES NORMALES.....	35
2.8.1 COMPROBACIÓN DEL SISTEMA DE AUTO EMBANDERAMIENTO .....	35
2.8.2 COMPROBACIÓN DEL REGULADOR DE SOBRE VELOCIDAD DE LA HÉLICE.....	35
2.8.3 COMPROBACIÓN DEL SISTEMA BACK-UP BETA.....	36
2.8.4 PRUEBA DEL MICRO INTERRUPTOR DE LA PALANCA DE POTENCIA .....	37
2.8.5 PRUEBA DE LUZ DE PRECAUCIÓN DEL RESETEO DE LAS HÉLICES.....	37
2.9 OPERACIONES ANORMALES.....	38
2.9.1 FALLA DEL REGULADOR PRIMARIO .....	38
2.9.2 SOBRE VELOCIDAD DE LA HÉLICE (MÁS GRANDE QUE 101.5 % NP) .....	38
2.9.3 LUZ INTERMITENTE DEL RANGO BETA .....	39
2.9.4 ILUMINACIÓN ESTABLE DE LA LUZ DEL RANGO BETA .....	39
2.10 HÉLICE HARTZELL HC-B3TN-3D.....	39
2.11 INFORMACIÓN TÉCNICA.....	42
2.11.1 PERIODOS DE OVERHAUL – (PROPELLER OWNER’S MANUAL 139).....	42
2.11.2 CARTA DE SERVICIO - (SERVICE LETTER HC-SL-61-61Y).....	43
2.11.3 PROCEDIMIENTOS DE INSPECCIÓN - (PROPELLER OWNER’S MANUAL 139).....	43
2.11.4 PRACTICAS DE MANTENIMIENTO – (PROPELLER OWNER’S MANUAL 139).....	45
2.11.5 LOCALIZACIÓN Y REPARACIÓN DE FALLAS – (PROPELLER MAINTENANCE MANUAL 118F) .....	50

## **CAPÍTULO III**

### **DESARROLLO DEL TEMA**

3.1 PRELIMINARES.....	52
3.1.1 PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS.....	52
3.2 ESTUDIO TÉCNICO.....	52
3.3 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD .....	52
3.3.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ALTERNATIVA .....	53
3.4 PARÁMETROS DE SELECCIÓN.....	53
3.4.1 ASPECTO TÉCNICO.....	54
3.4.2 ASPECTO HUMANO.....	54
3.4.3 ASPECTO ECONÓMICO.....	55
3.4.4 ASPECTO COMPLEMENTARIO .....	55
3.4.5 MATRIZ DE EVALUACIÓN .....	55
3.5 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA .....	56
3.6 IMPLEMENTACIÓN DEL BANCO DE PRUEBA HIDRÁULICO .....	56
3.7 COMPROBACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS.....	61
3.7.1 PRECAUCIONES Y NORMAS DE SEGURIDAD.....	61
3.7.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL BANCO DE PRUEBA .....	62
3.7.3 PREPARACIÓN PARA LA OPERACIÓN.....	63
3.7.4 OPERACIÓN DEL EQUIPO .....	68
3.7.5 ALIVIO DE PRESIÓN Y DESCONEXIÓN DEL EQUIPO.....	74
3.8 DIAGRAMA DE FLUJO DEL BANCO DE PRUEBAS HIDRÁULICO.....	79

## **CAPÍTULO IV**

4.1 CONCLUSIONES .....	81
4.2 RECOMENDACIONES .....	81
GLOSARIO DE TÉRMINOS .....	82
ABREVIATURAS .....	84
BIBLIOGRAFÍA.....	85
ANEXOS.....	86

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Generalidades de la Hélice Hartzell HC-B3TN-3D.....	8
Tabla 2	Especificaciones de la Hélice Hartzell HC-B3TN-3D .....	9
Tabla 3	Hélice Hartzell HC-B3TN-3D.....	39
Tabla 4	Matriz de Evaluación.....	55
Tabla 5	Simbología del diagrama de flujo.....	79

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Avión Twin Otter .....	5
Figura 2 Servicios del avión Twin Otter.....	6
Figura 3 Motor PT6A - 27.....	7
Figura 4 Hélice Hartzell HC-B3TN-3D .....	8
Figura 5 Fuerza centrífuga de la pala .....	9
Figura 6 Fuerza de tracción .....	10
Figura 7 Fuerza de reacción .....	10
Figura 8 Momento aerodinámico de torsión.....	11
Figura 9 Momento centrífugo de la pala.....	11
Figura 10 Ángulo de ataque.....	12
Figura 11 Ángulo de pala.....	12
Figura 12 Ángulo de hélice .....	13
Figura 13 Borde de ataque .....	13
Figura 14 Borde de salida.....	14
Figura 15 Cuerda .....	14
Figura 16 Raíz de la pala.....	15
Figura 17 Pala.....	15
Figura 18 Paso largo.....	16
Figura 19 Paso corto.....	16
Figura 20 Resbalamiento .....	17
Figura 21 Plano de rotación .....	18
Figura 22 Sección de pala .....	18
Figura 23 Finalidad de la hélice .....	19
Figura 24 Hélice Hartzell - Descripción y Operación.....	20
Figura 25 Palas de la hélice.....	21
Figura 26 Nomenclatura de la pala .....	22
Figura 27 Cubo de acero .....	24
Figura 28 Barril .....	24
Figura 29 Acoplamiento de la hélice de paso fijo.....	26
Figura 30 Hélice de paso variable.....	28
Figura 31 Hélice con embanderamiento y reversa.....	30
Figura 32 Regulador primario .....	30

Figura 33	Válvula de reversa beta .....	31
Figura 34	Rango beta de la hélice .....	32
Figura 35	Válvula beta backup.....	32
Figura 36	Regulador de sobre velocidad .....	33
Figura 37	Regulador fuel topping.....	34
Figura 38	Sistema de auto embanderamiento .....	34
Figura 39	Chequeo del sistema de auto embanderamiento.....	35
Figura 40	Regulador de sobre velocidad de la hélice .....	36
Figura 41	Chequeo del sistema backup beta.....	36
Figura 42	Prueba de la palanca de potencia.....	37
Figura 43	Falla del regulador primario .....	38
Figura 44	Componentes de la Hélice Hartzell HC-B3TN-3D.....	41
Figura 45	Puntos de lubricación.....	47
Figura 46	Etiqueta de lubricación.....	48
Figura 47	Tabla de torque.....	49
Figura 48	Puntos de fuga de aceite y grasa.....	50
Figura 49	Estructura del banco de prueba hidráulico.....	57
Figura 50	Ubicación de los componentes .....	57
Figura 51	Revestimiento del banco de prueba.....	58
Figura 52	Instalación del panel de control.....	58
Figura 53	Base de la hélice.....	59
Figura 54	Banco de soporte de la hélice.....	59
Figura 55	Soldando las ruedas .....	60
Figura 56	Pintando el banco de prueba .....	60
Figura 57	Banco de prueba y soporte de la hélice.....	60
Figura 58	Banco hidráulico .....	63
Figura 59	Área de trabajo limpia .....	63
Figura 60	Conexiones hidráulicas, eléctricas.....	64
Figura 61	Completando aceite turbo oil 2380 .....	64
Figura 62	Hélice asegurada .....	65
Figura 63	Verificando cañerías de presión y retorno .....	65
Figura 64	Llave de paso de línea de retorno.....	66
Figura 65	Toma de corriente a 220v .....	66
Figura 66	Voltímetro .....	66

Figura 67	Válvula de doble en posición neutral .....	67
Figura 68	Válvula de paso cerrada .....	67
Figura 69	Indicador de presión en cero .....	68
Figura 70	Interruptores en apagados.....	68
Figura 71	Interruptor encendido.....	69
Figura 72	Válvula de doble vía en la posición open.....	69
Figura 73	Enviando presión de aceite.....	70
Figura 74	Indicador de presión .....	70
Figura 75	Presión de aceite en la hélice .....	71
Figura 76	Cambiando el ángulo de las palas.....	71
Figura 77	Cerrando la válvula de paso .....	72
Figura 78	Válvula de doble en la posición neutral.....	72
Figura 79	Interruptor apagado .....	73
Figura 80	Comprobando fugas de aceite.....	73
Figura 81	Abriendo llave de paso de la línea de retorno.....	74
Figura 82	Válvula de doble vía en la posición close .....	74
Figura 83	Aliviando presión de aceite .....	75
Figura 84	Indicador de presión en cero .....	75
Figura 85	Palas de la hélice retornando al punto inicial.....	76
Figura 86	Palas de la hélice en su punto inicial .....	76
Figura 87	Cerrando válvula de paso .....	76
Figura 88	Válvula de doble vía en la posición neutral.....	77
Figura 89	Toma de corriente de 220v .....	77
Figura 90	Realizando la comprobación.....	78
Figura 91	Cambio de ángulo de las palas alcanzado .....	78

## RESUMEN

El desarrollo del actual proyecto plantea la Comprobación del cambio de ángulo de las palas de la Hélice Hartzell del avión Twin Otter perteneciente al Ala de Transportes No.11, ya que cada cierto tiempo “ 3000 horas de vuelo” o “60 meses calendario”, lo que ocurra primero, se realiza un overhaul a dichas hélices motivo por lo cual se adquirió varia información técnica para la comprobación dando como referencia técnica la implementación de un banco de pruebas hidráulico, el cual cumple con las exigencias técnicas y con las necesidades del personal técnico aeronáutico para la realización del trabajo. Esta tarea de mantenimiento no solo permitirá realizar la comprobación del cambio de ángulo de las palas de la hélice hartzell en tierra, de igual manera se realiza la inspección de fugas de aceite y la verificación de los componentes internos de la misma, logrando así una optimización de dinero y sobre todo tiempo contribuyendo significativamente a la institución, de esta manera se podrá garantizar el trabajo realizado prestando un servicio confiable y seguro, a la vez se podrá mantener la aeronavegabilidad de la hélice como el de la aeronave. Para concluir este trabajo escrito como práctico se lo realizó satisfactoriamente tomando las necesidades de la sección de mantenimiento dentro de sus talleres y laboratorios, con el fin de mejorar el desarrollo académico y profesional de los estudiantes como futuros técnicos de la carrera de mecánica aeronáutica.

## PALABRAS CLAVE

- **ÁNGULO**
- **AERONAVEGABILIDAD**
- **COMPROBACIÓN**
- **HÉLICE**
- **MANTENIMIENTO**

## ABSTRACT

The development of the current project involves the verification of the angle change of the Hartzell Propeller blades of the Twin Otter aircraft belonging to Ala de Transportes No.11, since from time to time: "3000 flight hours" or "60 months", which occurs first, an overhaul to those propellers is performed, and that is why a variety of technical information was acquired for the test, giving as technical reference the implementation of a hydraulic test bench, which meets the technical requirements and fulfill all the technical aeronautical personnel's needs for the accomplishment of the work. This maintenance task will not only allow the checking of the angle change of the Hartzell propeller blades on the ground, but the oil leak inspection and the verification of the internal components of the Hartzell propeller are carried out, thus achieving an optimization of money and time contributing significantly to the institution. In this way it will be possible to guarantee the work done by providing a reliable and safe service, and at the same time, it will maintain the airworthiness of the propeller like the one of the aircraft. In order to conclude this written and practical job, it was satisfactorily performed taking the needs of the maintenance section within its workshops and laboratories, in order to improve the academic and professional development of students as future technicians of the aeronautical mechanics career.

## KEY WORDS

- **ANGLE**
- **AIRWORTHINESS**
- **COMPROBATION**
- **PROPELLER**
- **MAINTENANCE**

-----  
**Checked By:**

Lic. Diego Granja  
English teacher UGT



## CAPÍTULO I

### **“COMPROBACIÓN DEL CAMBIO DE ÁNGULO DE LAS PALAS DE LA HÉLICE HARTZELL DEL AVIÓN TWIN OTTER PERTENECIENTE AL ALA DE TRANSPORTES N° 11”**

#### **1.1 Antecedentes**

La Fuerza Aérea Ecuatoriana, sin lugar a duda, es una Institución profundamente enraizada en el alma nacional, por ser la heroica defensora de los cielos de la patria y uno de los puntales fundamentales en el desarrollo nacional, apoyando a los sectores más desprotegidos y desatendidos en las diversas latitudes de nuestra privilegiada geografía andina, tropical, amazónica e insular, con una diversa gama de características únicas.

Dentro de la cual se constituye el Ala de Transportes No.11 la misma que proporciona el apoyo a las operaciones aéreas de combate con el transporte de tropas, lanzamiento de paracaidistas y carga de material bélico en tiempos de conflicto, la Organización Estructural del Ala de Transportes No.11 está determinada por escuadrones conformando de la siguiente manera:

- Escuadrón Cóndor C-130
- Escuadrón Avro N° 1112
- Escuadrón Twin Otter DHC-6
- Escuadrón Sabreliner

El Escuadrón Twin Otter DHC-6 tiene como misión proveer la capacidad de transporte táctico y estratégico, dentro o fuera del territorio nacional. Este escuadrón tiene a su cargo el apoyo al desarrollo en lo que a transporte aéreo se refiere, en todo el territorio ecuatoriano. El mantenimiento que realiza el escuadrón Twin Otter es de vital importancia para las aeronaves de

la Fuerza Aérea Ecuatoriana permitiendo así que se mantenga la aeronavegabilidad logrando su misión de transporte, servicio y protección a la sociedad, también cuenta con personal altamente capacitados los cuales alcanzan la excelencia reflejando dicho trabajo mediante tareas de mantenimiento que realizan periódicamente a sus aeronaves.

## **1.2 Planteamiento del problema**

En el escuadrón Twin Otter DHC-6 del ala de transporte No.11 se realiza servicios de mantenimiento periódicamente de acuerdo a lo estipulado en el manual de overhaul, sin embargo no cuentan con herramienta suficiente que satisfaga las necesidades de dichas tareas, viendo reflejado en el momento de realizar comprobaciones a la aeronave.

La importancia que tiene de realizar la comprobación de cambio de ángulo de las palas de la hélice Hartzell es para chequear la hélice en tierra luego de haber realizado el overhaul de la misma. Por medio de lo cual se verificara el chequeo de fugaz de aceite, comprobación de componentes internos de la hélice y el cambio de ángulo de las palas de la hélice ya que dicha verificación se la realiza cada 3000 horas de vuelo del avión Twin Otter.

En caso de no desarrollarse la comprobación del cambio de ángulo de las palas de la hélice Hartzell limitaría al técnico de mantenimiento a realizar los chequeos necesarios con la hélice desmontada lo que conlleva al técnico a utilizar el avión, generando una inseguridad al personal de mantenimiento y una pérdida de tiempo al avión cuando cumpla con horas u operación durante el vuelo.

## **1.3 Justificación**

La comprobación de la hélice permitirá al técnico de mantenimiento garantizar mejor su trabajo ya que se lograra realizar los debidos y necesarios chequeos a la hélice Hartzell verificando el overhaul de dicha

hélice beneficiando la operación y seguridad de los aviones de la “FUERZA AEREA ECUATORIANA”.

El beneficio que se obtendrá será de provecho para el personal de mantenimiento del Escuadrón Twin Otter ya que se lograra optimizar el tiempo y así reutilizarlo en otras tareas de mantenimiento, permitiéndole de igual manera desarrollar sus habilidades motrices, solo así se alcanzará la excelencia de todas y cada una de las personas.

Al momento de realizar esta comprobación de cambio de ángulo de las palas de la hélice Hartzell contribuirá significativamente, prestando un servicio confiable y seguro al personal de mantenimiento y permitiendo a la aeronave mantener su aeronavegabilidad.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

- Comprobar el cambio de ángulo de las palas de la hélice Hartzell, refiriéndose a las especificaciones descritas en la información técnica, para garantizar la calidad del servicio de mantenimiento ejecutado.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Recopilar información necesaria acerca de la comprobación de paso de la hélice.
- Verificar los elementos, máquinas y equipos que se requieren para la ejecución de la tarea de comprobación de la hélice.
- Realizar la comprobación del cambio de ángulo de las palas de la hélice Hartzell.

## **1.5 Alcance**

El presente proyecto propone comprobar el cambio de ángulo de las palas de la hélice Hartzell del avión Twin Otter perteneciente al ala de transportes No. 11 y verificar el buen mantenimiento realizado a la misma, ya que al realizar el overhaul de los componentes de la hélice se debe determinar el estado de cada uno de ellos y con esto garantizamos la seguridad de vuelo. Se realizara una comprobación en tierra antes de proceder al montaje en el avión y mediante este procedimiento se optimizara el tiempo.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Fundamentos Teóricos

##### 2.1.1 Avión Twin Otter<sup>1</sup>

EL avión Twin Otter de perfil alar alto, suministrado de dos motores (bimotor), dichos motores son turbopropulsores de turbina libre de la compañía Pratt & Whitney PT6 fabricado por United Aircraft of Canadá. Este avión bimotor consta de un tren de aterrizaje triciclo fijo, sus habilidades STOL y su relativamente alta tasa de ascenso lo han convertido en un exitoso avión de carga, de pasajeros regionales y de evacuación médica.



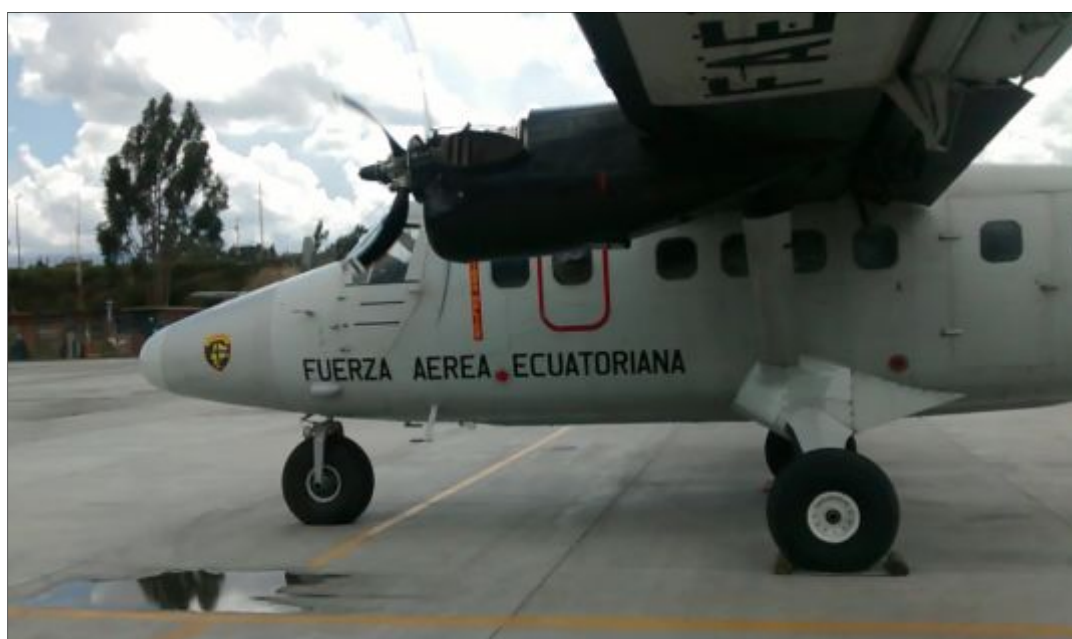
**Figura 1** Avión Twin Otter

---

<sup>1</sup> (Aerointer, 2009)

### 2.1.2 Servicios del avión Twin Otter<sup>2</sup>

El avión Twin Otter presta algunos servicios como un exitoso avión de carga, de pasajeros regionales, de evacuación médica en la Fuerza Aérea Ecuatoriana, y sobre todo cuenta con su gran habilidad de STOL ya que cuenta con un gran diseño lo que le facilita, le ayuda, lo convierte en un aeroplano muy accesible en zonas poco pobladas y remotas de nuestro hermoso Ecuador, considerando así la región amazónica como la más visitada por las necesidades de su población.



**Figura 2** Servicios del avión Twin Otter

### 2.1.3 Motor básico PT6A - 27

El diseño del motor PT6 se inició en 1958. La producción del mismo comenzó con el PT6 - 6 550 SHP. Los motores PT6 se utilizan en distintos países.

Las series correspondientes al motor PT6A – 27 son motores de turbina liviana que impulsan un eje de la hélice por medio de una caja de engranajes

---

<sup>2</sup> (Aerointer, 2009)

de reducción de dos etapas. El corazón del motor lo conforman dos conjuntos principales giratorios. Uno de los conjuntos consta de una turbina del compresor. El otro consta de turbinas de potencia y del eje de la turbina de potencia. Los dos conjuntos giratorios no están conectados entre sí y giran a velocidades distintas y en direcciones opuestas. A este diseño se le conoce como “Motor de turbina de giro libre”.<sup>3</sup>



**Figura 3** Motor PT6A - 27

#### **2.1.4 Hélice Hartzell HC-B3TN-3D**

La hélice Hartzell fue fundada en 1917 por Robert Hartzell la nuez de la hélice de la empresa, es de fabricación americana construida por la casa Hartzell; es una hélice de velocidad constante, hidromática, paso variable, su denominación es HC-B3TN-3D.

---

<sup>3</sup> (IAAFA, 2002)



**Figura 4** Hélice Hartzell HC-B3TN-3D

**Tabla 1**

**Generalidades de la Hélice Hartzell HC-B3TN-3D<sup>4</sup>**

<b>GENERALIDADES DE LA HÉLICE HARTZELL HC-B3TN-3D</b>	
<b>HC</b>	<b>Hélice controlable</b>
<b>B</b>	<b>Diseño básico de la hélice</b>
<b>3</b>	<b>Número de palas</b>
<b>T</b>	<b>Raíz de la pala de la hélice</b>
<b>N</b>	<b>Brida de montaje</b>
<b>3</b>	<b>Características específicas de diseño</b>
<b>D</b>	<b>Modificaciones menores</b>

**Fuente:** (Hartzell, 2006)

<sup>4</sup> (Hartzell, 2006)



Tabla 2

## Especificaciones de la Hélice Hartzell HC-B3TN-3D

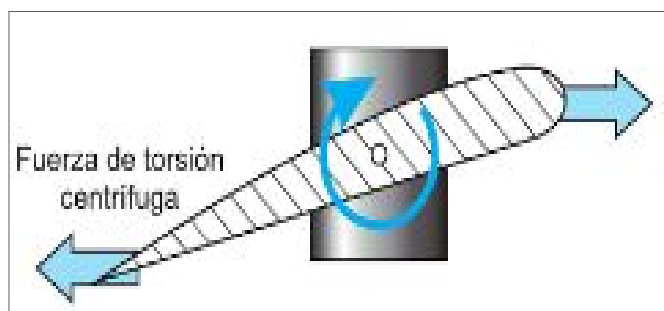
ESPECIFICACIONES DE LA HELICE HARTZELL HC-B3TN-3D	
Diámetro de la hélice	8 pies (6 pulgadas)
Paso ato	27 grados
Paso fino de vuelo	17 grados
Bandera	87 grados
Reversa	-15 grados
Peso	134 libras
Ralentí en tierra	11 grados
RPM de descolaje	2200 25
Relación de rotación	-15 a 1
Estación de referencia	30

Fuente: (Hartzell, 2006)

## 2.2 Fuerzas que actúan sobre la Hélice<sup>5</sup>

### 2.2.1 Fuerza Centrífuga

Es debida al movimiento de giro de la hélice, es la mayor fuerza que actúa sobre la hélice.



**Figura 5** Fuerza centrífuga de la pala

Fuente: (López Crespo, 2016)

<sup>5</sup> (Oñate, 2007)

### 2.2.2 Fuerza de Tracción

Es debida a la diferencia de presión entre el intrado y extrado de la pala, es decir, produce esfuerzos de flexión en la pala.

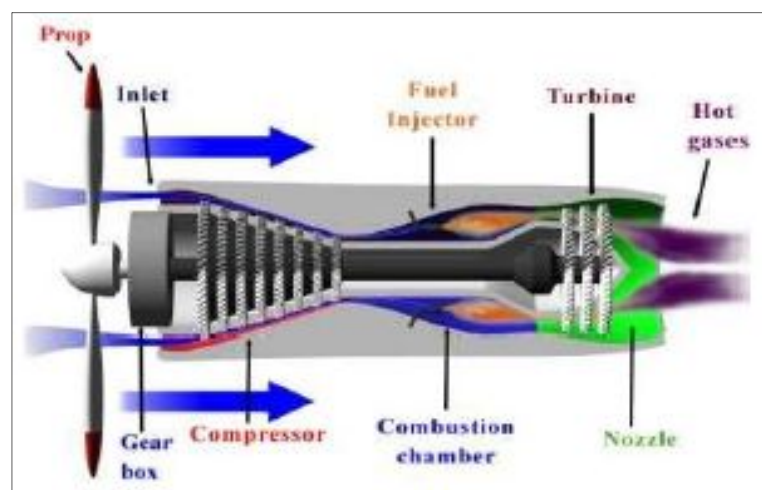


**Figura 6** Fuerza de tracción

**Fuente:** (Lopez, 2012)

### 2.2.3 Fuerza de Reacción

Es un par igual y contrario al que recibe la hélice conducida por el motor.

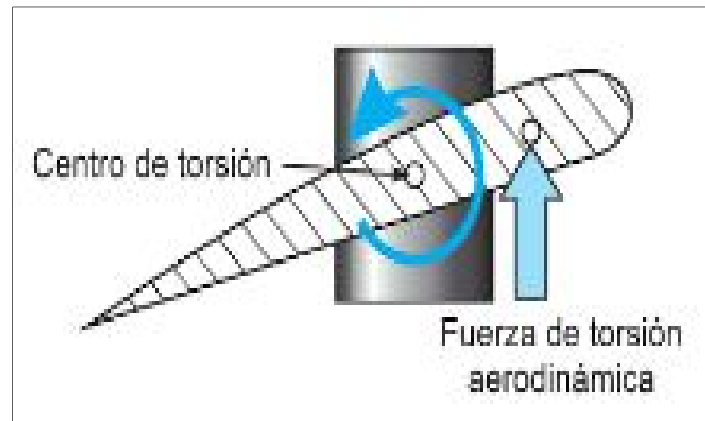


**Figura 7** Fuerza de reacción

**Fuente:** (Vallbona Vilajosana, 2011)

### 2.2.4 Momento aerodinámico de torsión

Momento que trata de girar la hélice hacia un mayor ángulo de pala de la hélice.

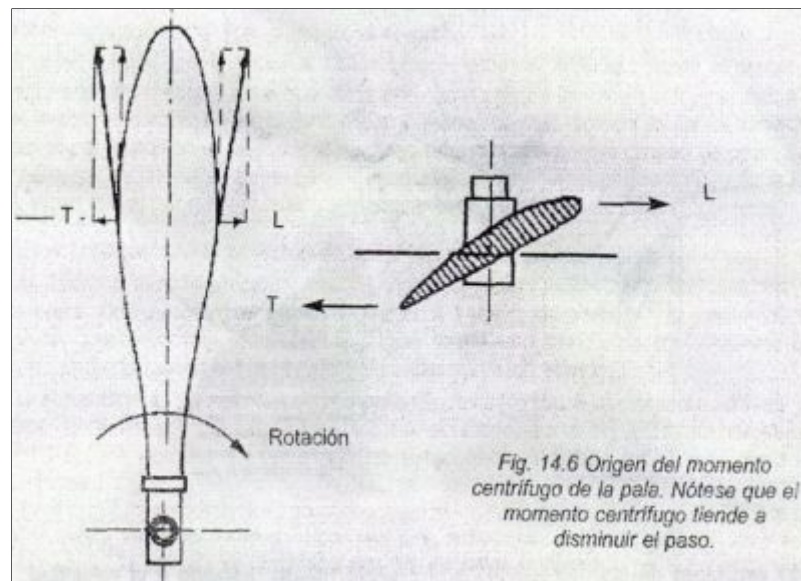


**Figura 8** Momento aerodinámico de torsión

**Fuente:** (López Crespo, 2016)

### 2.2.5 Momento centrífugo de la pala

Momento que trata de girar la hélice hacia un menor ángulo de pala de la hélice.



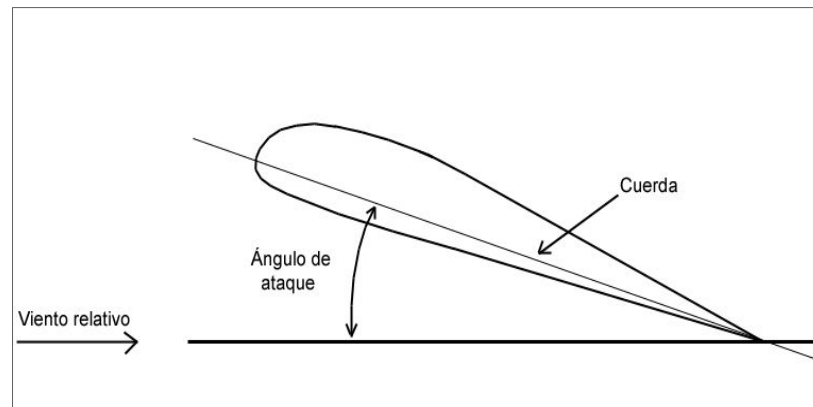
**Figura 9** Momento centrífugo de la pala

**Fuente:** (Oñate, 2007)

## 2.3 Terminología de la Hélice<sup>6</sup>

### 2.3.1 Ángulo de ataque

Es el ángulo que forma la cuerda de la sección de la pala y el viento relativo.

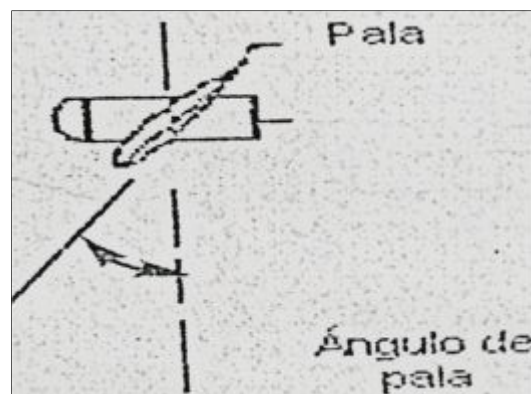


**Figura 10** Ángulo de ataque

**Fuente:** (Baldó, 2016)

### 2.3.2 Ángulo de pala

Es el ángulo agudo que forma la cuerda de la sección de la pala con un plano perpendicular al eje de rotación.



**Figura 11** Ángulo de pala

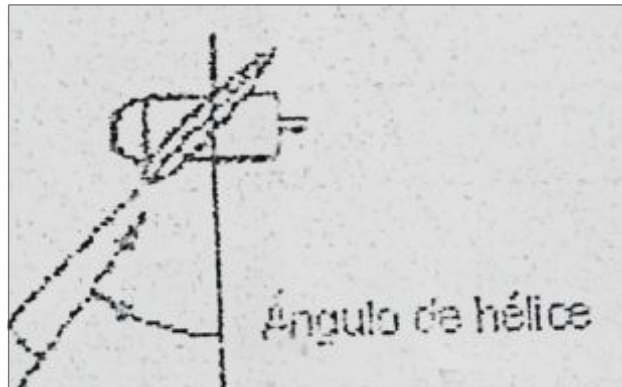
**Fuente:** (Oñate, 2007)

---

<sup>6</sup> (Oñate, 2007)

### 2.3.3 Ángulo de hélice

Es el ángulo agudo que forma la velocidad relativa del aire y el plano donde gira la hélice.



**Figura 12** Ángulo de hélice

**Fuente:** (Oñate, 2007)

### 2.3.4 Borde de ataque

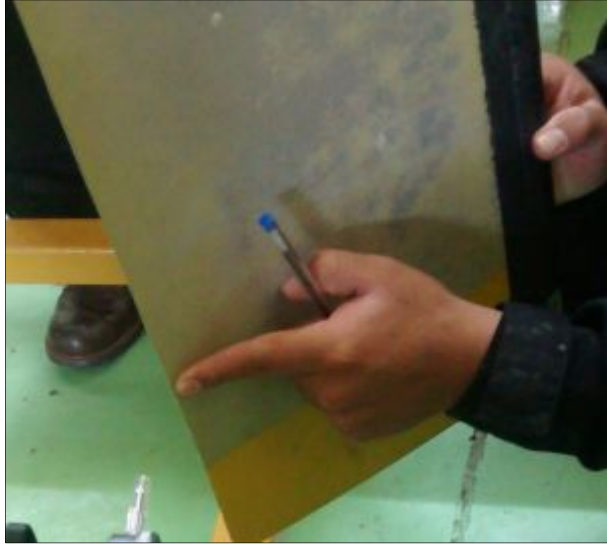
Borde anterior de la pala de hélice, en el sentido de ataque al viento relativo.



**Figura 13** Borde de ataque

### 2.3.5 Borde de salida

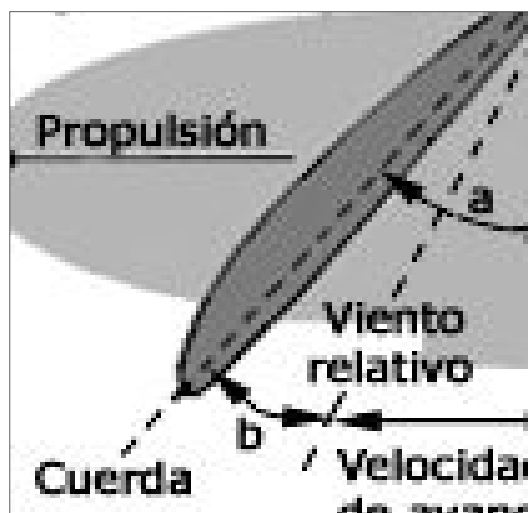
Borde posterior de la pala de hélice, en el sentido de ataque al viento relativo.



**Figura 14** Borde de salida

### 2.3.6 Cuerda

Line imaginaria que une al borde de ataque con el borde de salida.

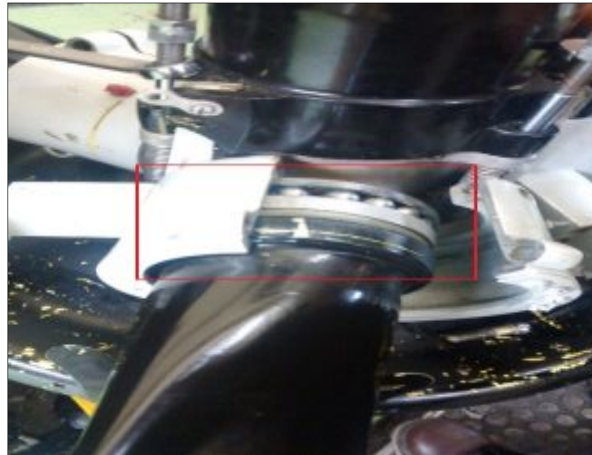


**Figura 15** Cuerda

**Fuente:** (Muñoz, 2016)

### 2.3.7 Espiga de la pala

Se llama también raíz, es la parte más próxima al buje debido a que es la zona de empotramiento de la pala en el cubo.



**Figura 16** Raíz de la pala

### 2.3.8 Pala

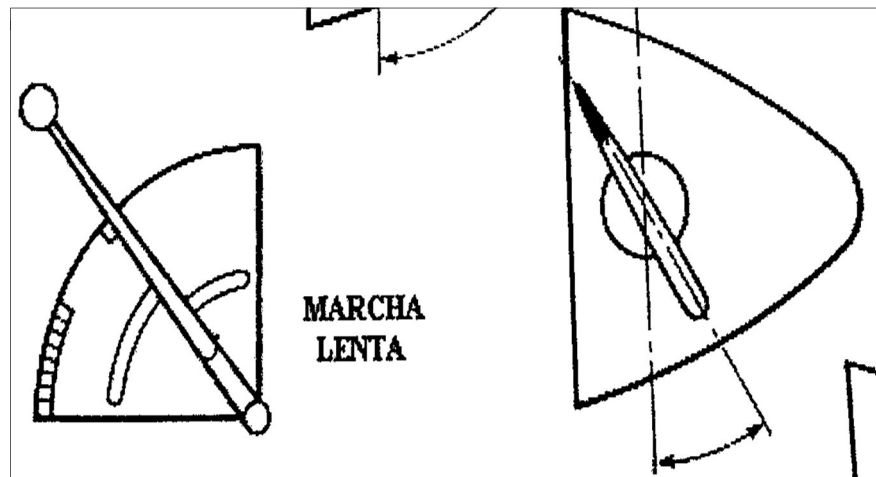
Una de las superficies aerodinámicas que componen la hélice, se extiende desde el cubo de la hélice hasta la punta o extremo de pala.



**Figura 17** Pala

### 2.3.9 Paso largo

El mayor paso o ajuste de ángulo de pala de una hélice de paso variable. Es el ajuste que normalmente facilita la actuación más favorable del grupo moto propulsor en vuelo crucero.

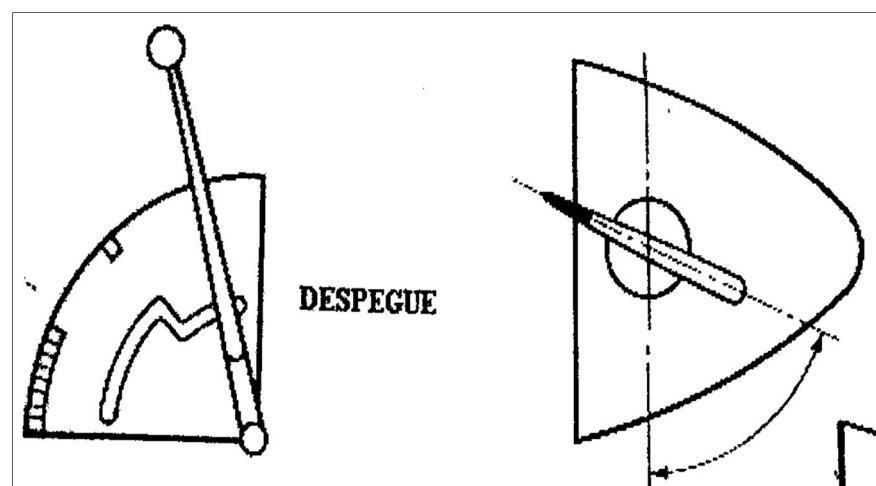


**Figura 18** Paso largo

Fuente: (IAAFA, 2002)

### 2.3.10 Paso corto

El menor paso o ajuste de ángulo de pala de una hélice de paso variable. Es el ajuste que normalmente facilita la actuación más favorable del avión en despegue.



**Figura 19** Paso corto

Fuente: (IAAFA, 2002)



### 2.3.11 Paso geométrico

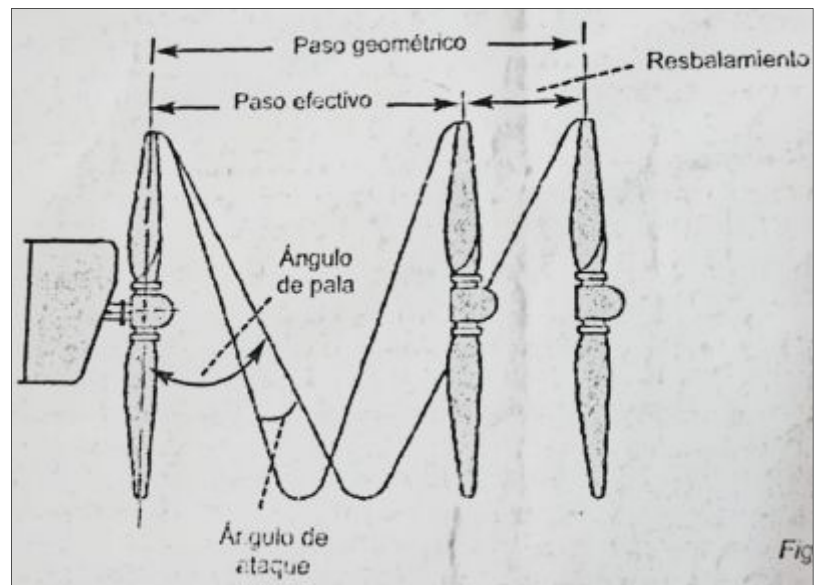
Es la distancia que avanza la pala en una revolución si se desplaza a lo largo de una hélice cuyo ángulo es igual al ángulo de pala.

### 2.3.12 Paso efectivo

Distancia real que recorre el avión durante el tiempo que la hélice efectúa una revolución completa.

### 2.3.13 Resbalamiento

Diferencia entre el paso geométrico y el paso efectivo de la hélice, es “distancia perdida” de desplazamiento de la hélice como consecuencia de que esta se mueve en el seno de un fluido y no es un medio sólido.

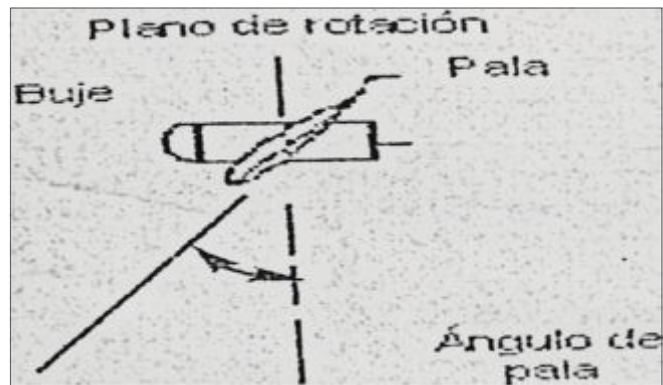


**Figura 20** Resbalamiento

**Fuente:** (Oñate, 2007)

### 2.3.14 Plano de rotación

Plano en el cual gira la hélice. El plano de rotación es perpendicular pues al eje de rotación del árbol motor.



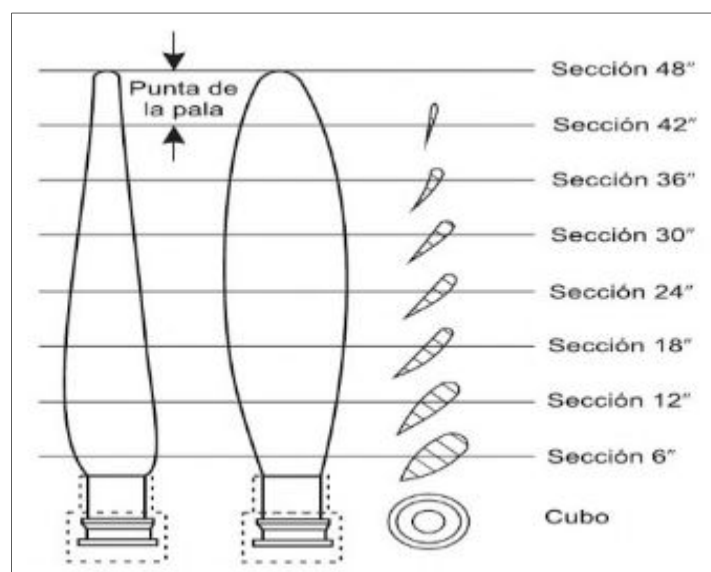
**Figura 21** Plano de rotación

**Fuente:** (Oñate, 2007)

### 2.3.15 Sección de la pala

Es la sección o corte transversal de una pala de hélice. La sección es un corte imaginario que se puede individualizar para cualquier plano paralelo al eje de rotación.

Las secciones de la pala son, en realidad, perfiles aerodinámicos similares a los empleados en las alas de las aeronaves. La forma geométrica, el espesor, longitud, etc., de las secciones de hélice varía a lo largo de la pala.



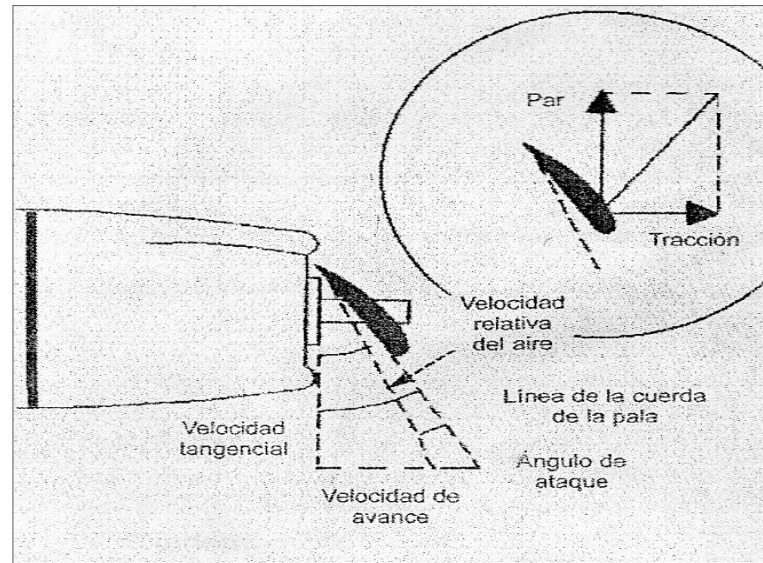
**Figura 22** Sección de pala

**Fuente:** (López Crespo, 2016)

## 2.4 Sistema de Hélice<sup>7</sup>

### 2.4.1 Finalidad de la hélice

Transformar la potencia producida por el motor en potencia de empuje para impulsar el avión a por el aire.



**Figura 23** Finalidad de la hélice

**Fuente:** (Oñate, 2007)

### 2.4.2 Descripción

El sistema de hélice que se utiliza en todos los PT6A es del tipo de paso variable de accionamiento único. El regulador de la hélice ajusta, automáticamente, el ángulo de pala para mantener la velocidad de la hélice. Al aplicar más potencia, el ángulo de ataque del alabe aumenta, automáticamente, para permitir que la hélice absorba la energía adicional sin aumentar el impulso.

El sistema de hélice consta de un cubo de estrella hueco que apoya las palas y, además, aloja un tubo piloto de lubricación interno y un resorte de retorno de puesta en bandera. Los contrapesos centrífugos en cada puño de

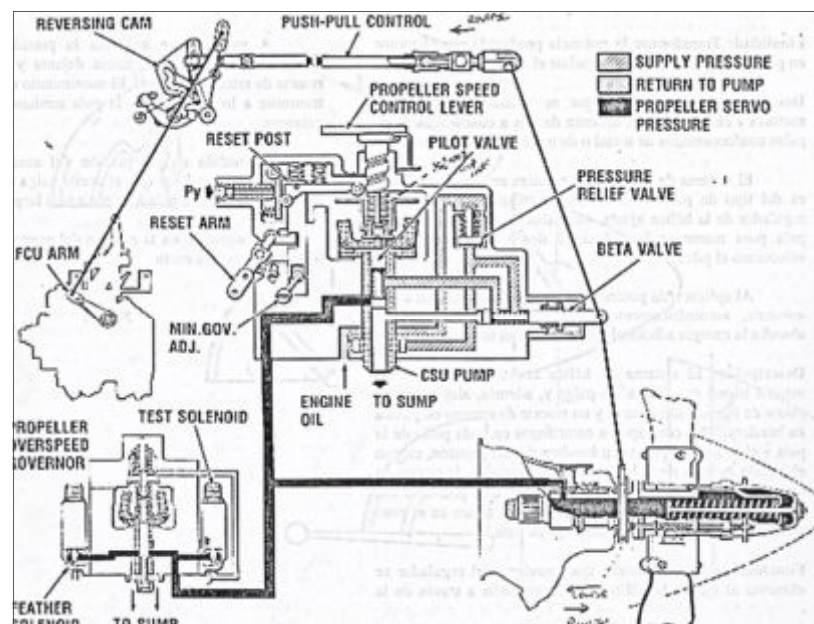
<sup>7</sup> (IAAFA, 2002)

la pala y el resorte de puesta en bandera del servo pistón, cargan el ángulo de la pala de la hélice hacia la posición de puesta en bandera. En sentido opuesto, el aceite que proviene del regulador de la hélice, tiende a impulsar la hélice en el paso corto o en la posición de ángulo bajo de pala. (Ver figura 24).

### 2.4.3 Funcionamiento

El aceite que proviene del regulador se alimenta al eje de la hélice y al servo pistón a través de la manga de transferencia de aceite montada sobre el eje de la hélice. A medida que aumenta la presión del aceite, el servo pistón es impulsado hacia adelante y se comprime el resorte de retorno de bandera. El movimiento del servo pistón se transmite a los collares de la pala mediante un sistema de palancas.

A medida que la presión del aceite disminuye, el resorte de retorno hace que el aceite salga del servo pistón y cambia el paso de la pala a un paso más largo. Un aumento en la presión del aceite impulsa el alabe hacia un paso más corto.



**Figura 24** Hélice Hartzell - Descripción y Operación

**Fuente:** (FlightSafety International, 2002)

## 2.5 Componentes de la Hélice<sup>8</sup>

### 2.5.1 Las palas

La pala de una hélice tiene la misma forma que el ala de un avión, simplemente que es más pequeña y puede girar. La pala está formada por secciones llamadas “secciones de pala” son las infinitas secciones que componen la pala. Estas secciones es un concepto útil en el estudio de la hélice, y hace referencia al perfil que tiene la pala en una posición determinada del radio. La utilidad del término se debe a que la pala cambia continuamente de forma a lo largo de su altura. Las palas de la hélice son fabricadas de acero, aleación de aluminio, madera laminada y/o materiales compuestos. Las palas de una hélice al girar ocasionan fuerzas de aire de las cuales son en dirección para producir “empuje”.



**Figura 25** Palas de la hélice

### 2.5.2 Ángulo de la pala

Técnicamente, es el ángulo agudo que forma la cuerda de la sección de la pala con un plano perpendicular al eje de rotación. El ángulo de pala es la suma del ángulo de la hélice y ángulo de ataque en particular y el plano en el

---

<sup>8</sup> (Oñate, 2007)

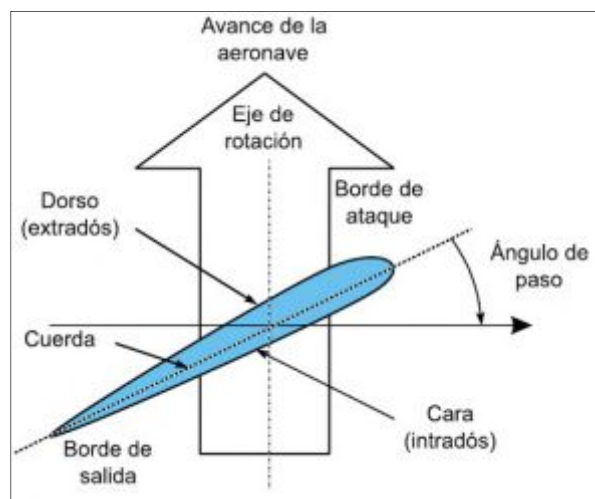
cual las palas de la hélice giran. Se llama también ángulo de paso geométrico de la pala. La hélice tiene torsión, que se aprecia desde la raíz hasta la punta, primordialmente debido al incremento del ángulo de avance, por lo tanto, cualquier sección de la pala tiene un camino por el aire.

### 2.5.3 Nomenclatura de la pala

Realizando un corte transversal a la pala observamos que es similar a la vista del ala de un avión y se divide en lo siguiente:

- Borde de ataque
- Borde de salida
- Cara de la pala
- Lomo de la pala

El borde de ataque es el borde delantero y que corta el aire debido a su forma aerodinámica, el borde de salida es el borde posterior u opuesto del plano aerodinámico, la cara de la pala es el lado plano o aproximadamente plano intradós), el lomo de la pala es la cara curva de la pala (extradós).



**Figura 26** Nomenclatura de la pala

**Fuente:** (López Crespo, 2016)

#### **2.5.4 El cubo**

El cubo o buje es la parte central de la hélice, sirve de soporte a la raíz de la pala la cual se empotra y se retiene en el mismo, el cubo se cubre con una caperuza de chapa o de fibra y adquiere así una forma aerodinámica.

La mayoría de sus componentes son fabricados de acero, tiene estrías internas que corresponden con las estrías externas del eje de la hélice y va asegurada a este mediante una tuerca de retención, algunas hélices tienen cubo de una sola pieza, mientras que otras tienen un grupo de piezas llamado barril.

El cubo, naturalmente, tiene un orificio en el centro para recibir el eje de la hélice. Los tipos más grandes tienen un asiento de cono en cada extremo de este orificio, que se llama generalmente " orificio para el eje de la hélice".

Algunos tipos pequeños usan solamente un cono y otros están unidos mediante pernos a un eje de la Hélice con pestaña. Casi todos los conos que tienen tamaños idénticos son intercambiables entre diferentes marcas de hélices cuyos ejes son similares.

##### **2.5.4.1 Conjunto de la cúpula o domo**

Es el conjunto en el cual se producen las diferentes presiones para el cambio de paso de la hélice.

##### **2.5.4.2 Conjunto de seguro de pasó de la hélice**

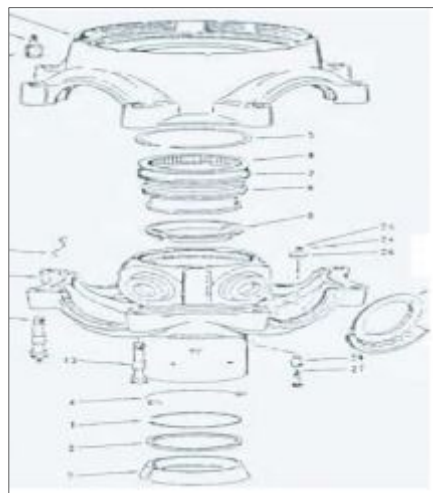
Es una válvula que controla y asegura el paso fino de vuelo de 17° A 27° grados y el embanderamiento de 87°. En tierra su función es asegurar el paso de bandera y permitir el retorno a Paso fino de tierra 17° grados.



**Figura 27** Cubo de acero

### 2.5.5 Barril

El barril se compone de dos elementos los cuales están hechos de acero dentro de lo cual esta lleva ciertos componentes de retención y sujeción formando parte del mismo.



**Figura 28** Barril



## **2.6 Clasificación de las hélices según su guío de pala**

### **2.6.1 Hélices de paso fijo**

Las hélices de paso fijo, el paso no se puede alterar en vuelo y se clasifican en dos grupos:

#### **2.6.1.1 Hélices de paso fijo, propiamente dichas**

Las hélices de paso fijo se fabrican con ángulo de paso fijo. Es un tipo de hélice que se emplea en aviones monomotores con motores de baja potencia. Son hélices muy simples, y por lo tanto de mantenimiento fácil, donde priman las consideraciones económicas.

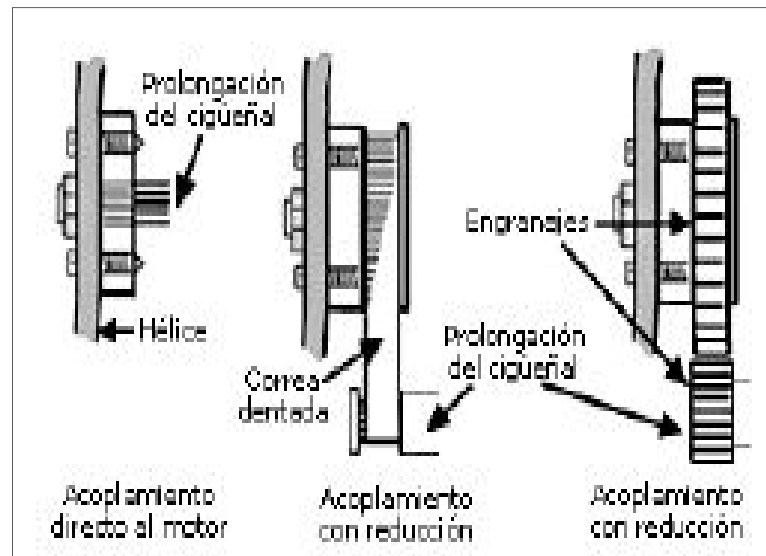
El paso con el que se fabrican estas hélices es un compromiso para conseguir las mejores características de vuelo. En teoría, para el despegue, el avión debe tener una hélice con paso pequeño (paso corto), de tal modo que pueda girar a altas revoluciones y aprovechar con ello toda la potencia del motor para impulsar hacia atrás una gran masa de aire.

Sin embargo, en vuelo de crucero interesa aumentar el paso (hacia paso largo) para que el motor no gire a revoluciones altas (muy rápido y de forma antieconómica, con alto consumo de combustible), o que se embale durante un picado. Como el paso de estas hélices es fijo, es normal que el constructor elija un paso intermedio de acuerdo con las características del avión donde se instala la hélice. Las hélices de paso fijo más empleadas son de las firmas McCauley y Sensenich.

#### **2.6.1.2 Hélices de paso ajustable**

Las hélices de paso ajustable tienen un mecanismo que permite el ajuste del paso, en tierra, por parte del mecánico, se pueden considerar obsoletas y se encuentran en algunos aviones ligeros.

El diseño de esta hélice responde a la idea de ajustar el paso para la fase de vuelo más representativa que hace el avión. Si es un avión que hace mayoritariamente vuelos de crucero interesa, como sabemos, un paso largo (mayor ángulo de pala), ya que las fases de despegue y ascenso del avión ocupan un segmento de vuelo muy breve en comparación con el vuelo de crucero.



**Figura 29** Acoplamiento de la hélice de paso fijo

**Fuente:** (Muñoz, 2016)

## 2.6.2 Hélices de paso variable

Las hélices de paso variable permiten el ajuste del paso en vuelo. Aunque hoy en día la mayor parte de estas hélices se controlan de forma automática, se clasifican en tres grupos:

### 2.6.2.1 Hélices de dos posiciones

Hélices antiguas de la firma Hamilton Standard, prácticamente obsoletas, sus dos posiciones son: paso corto para despegue y paso largo para crucero.

### **2.6.2.2 Hélices de control manual**

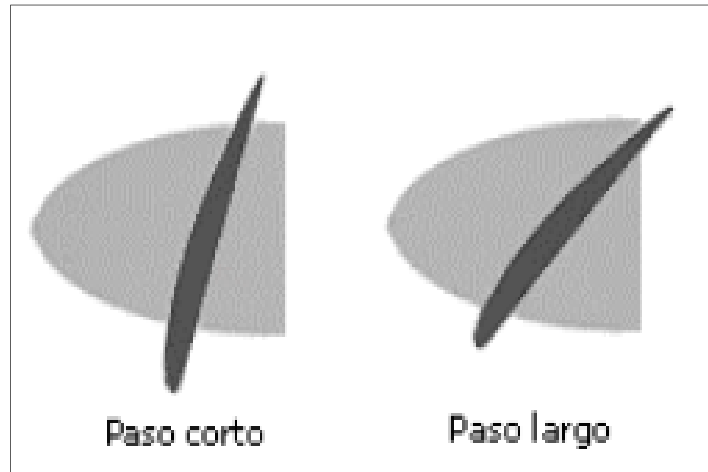
La hélice de control manual fue la pionera dentro de la categoría de las hélices de paso variable. Cuenta con un mecanismo que permite al piloto cambiar el paso en vuelo. De esta forma se selecciona un paso corto para el despegue y conseguir un buen régimen de ascenso, y un paso mayor cuando está en vuelo de crucero.

El inconveniente principal de esta hélice es evidente, el piloto necesita efectuar un control permanente del paso con el fin de no sobrecargar o embalar el motor.

### **2.6.2.3 Hélices de velocidad constante**

La introducción de un mecanismo de regulación centrífugo eliminó los problemas de control manual del paso. El regulador centrífugo de la hélice es a la vez un detector y un controlador de vueltas del motor. El mecanismo permite mantener el régimen de vueltas del motor seleccionado por el piloto, sin tener en cuenta la velocidad o la actitud de vuelo.

La función del regulador de la hélice es ajustar el paso de manera que la carga que impone la hélice sobre el motor mantenga las revoluciones de este en el ajuste seleccionado. Así, la hélice durante el despegue absorbe toda la potencia disponible del motor, de tal modo que cuando aumenta la velocidad del avión también el paso de la hélice aumenta proporcionalmente con el fin de mantener las revoluciones constantes, sin entrar en una condición de sobre velocidad.



**Figura 30** Hélice de paso variable

**Fuente:** (Muñoz, 2016)

### 2.6.3 Hélices con sistema de embanderamiento

Embanderar la hélice, o “poner una hélice en bandera”, es el procedimiento de situar el borde de ataque de la pala alineado con la dirección de la velocidad de la corriente libre, en un ángulo de pala de  $90^\circ$ .

Para este fin el mando de paso cuenta con un sector adicional de desplazamiento, en cuya posición la hélice entra en bandera. En otras instalaciones la puesta en bandera se efectúa pulsando un botón.

Cuando un motor de para en vuelo, la resistencia aerodinámica que origina la hélice girando libremente por la acción del aire y arrastrando al motor en su movimiento, es excepcionalmente alta. Situaciones de este tipo comprometen seriamente el control del avión. Por esta razón las hélices que se emplean en aviones polimotores (también se encuentra en algunas aplicaciones para monomotores) cuentan con un sistema de embanderamiento, que tiene la capacidad de situar las palas de la hélice más allá del ángulo de paso largo, a una posición conocida como bandera.

Las dos funciones que cumple el embanderamiento de la hélice son:

- Disminuir la resistencia al avance.

- Prevenir mayores daños internos en el motor (por arrastre del motor con la hélice en molinete) cuando es necesario pararlo en vuelo por anomalías de funcionamiento.

#### **2.6.4 Hélices de paso reversible**

La hélice reversible es de velocidad constante y con sistema de embanderamiento. Tiene, además, la capacidad de invertir el paso; es decir, puede situar las palas más allá de la posición de paso corto, en sentido negativo. Las hélices reversibles se emplean en aviones turbohélices y fueron dotación para los antiguos cuatrimotores de embolo. Se suelen emplear también en aviones anfibios para mejorar el manejo del avión sobre al agua.

Cuando la pala adopta un ángulo negativo crea empuje en sentido contrario a la tracción normal, y por lo tanto se puede usar freno durante la carrera de aterrizaje del avión. El ángulo de pala negativo puede ser fijo o variable, según que la actuación del sistema situé la pala en posición fija, o bien que el piloto pueda variar la posición de la pala dentro de ciertos límites. Desde el punto de vista aerodinámico, cuando la pala se encuentra con ángulo negativo el viento relativo ataca el perfil con un ángulo tal que el intrado pasa a ser el “lado de succión” de la pala, y el extrado el “lado de presión”. Naturalmente, el rendimiento aerodinámico de la hélice en esta situación empeora respecto al de operación normal, pero se consiguen los efectos buscados de tracción negativa.

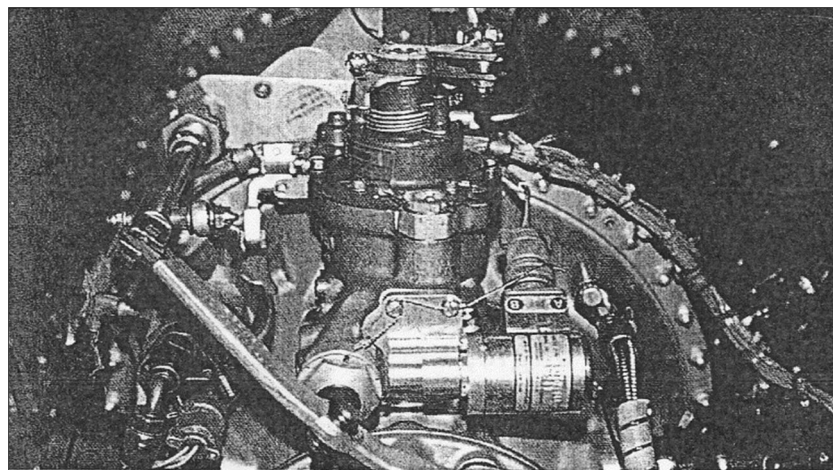


**Figura 31** Hélice con embanderamiento y reversa

## 2.7 Nomenclatura de la Hélice Hartzell HC-B3TN-3D<sup>9</sup>

### 2.7.1 Regulador primario

El regulador primario modula la presión de aceite en el domo de la hélice para cambiar el ángulo de la pala en orden para mantener la velocidad de la hélice constante. El regulador primario puede mantener cualquier rango de velocidad de la hélice seleccionado desde 75% NP hasta 96% NP, el GP ajusta las r.p.m. de la hélice controlando el suministro de aceite a el mecanismo del domo de la hélice.



**Figura 32** Regulador primario

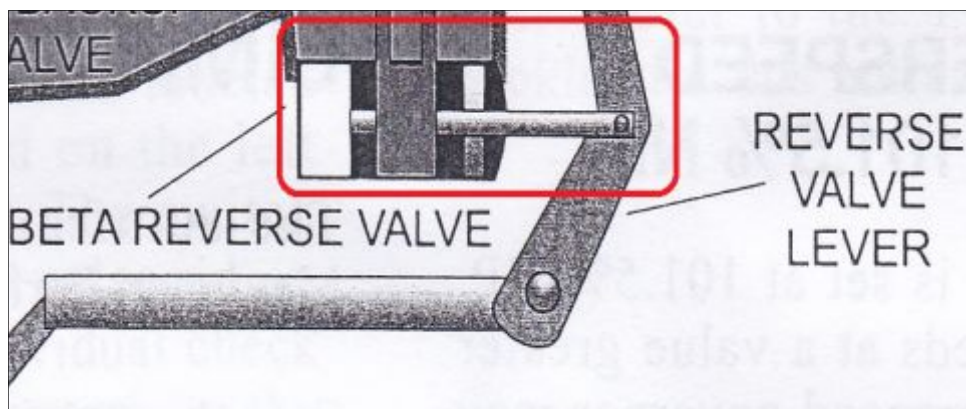
**Fuente:** (FlightSafety International, 2002)

---

<sup>9</sup> (FlightSafety International, 2002)

### 2.7.2 Válvula de reversa beta

Una vez en tierra, las hélices pueden ser usadas para asistir con la detención de la aeronave al igual que por Taxeo en reversa por operación de las hélices en rango beta. La válvula de reversa beta controla los ángulos de la pala de la hélice en el rango beta como selección por la palanca de potencia. Dicha válvula limita el ángulo de la pala de la hélice disminuyendo por debajo de un valor actual cuando el gobernador de la hélice es incapaz para mantener las r.p.m. de la hélice que ha sido seleccionado con la palanca de la hélice.



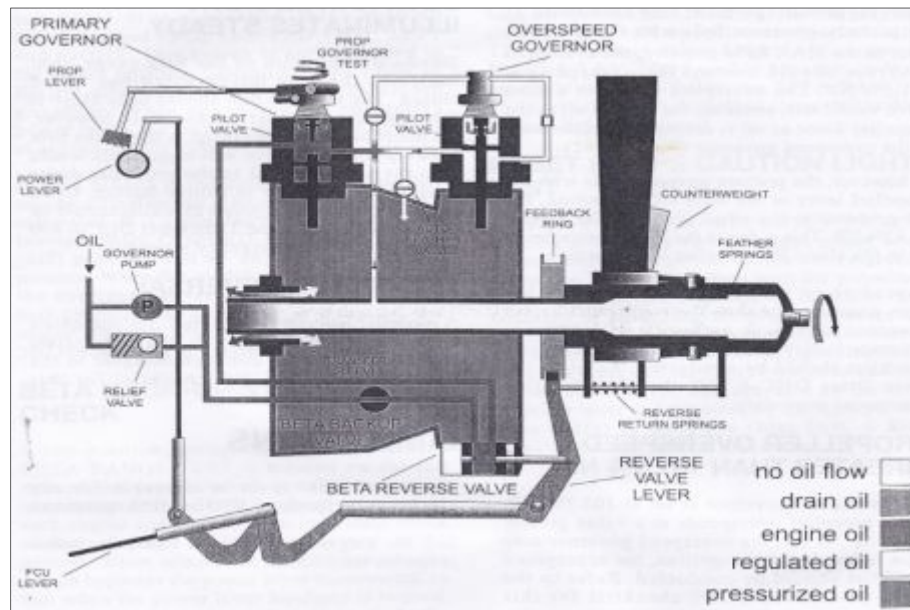
**Figura 33** Válvula de reversa beta

**Fuente:** (FlightSafety International, 2002)

### 2.7.3 Rango beta de la hélice

El rango beta de la hélice es el segmento en el rango de paso total de las palas de la hélice en el cual el ángulo de la pala es directamente controlado por la palanca de potencia. Se extiende desde + 17° en el rango de empuje delantero a - 15° en el rango de empuje de reversa.

La válvula de reversa beta controla el ángulo de la pala mientras el gobernador detiene el combustible limitando la velocidad de la hélice en el rango de reversa. El punto en el cual comenzaría el control beta en un ángulo de pala de 17°. En sumatoria, mientras en el rango beta, las PALANCAS de potencia solo tienen la habilidad para controlar ambos ángulos de la pala y la salida de potencia del motor.

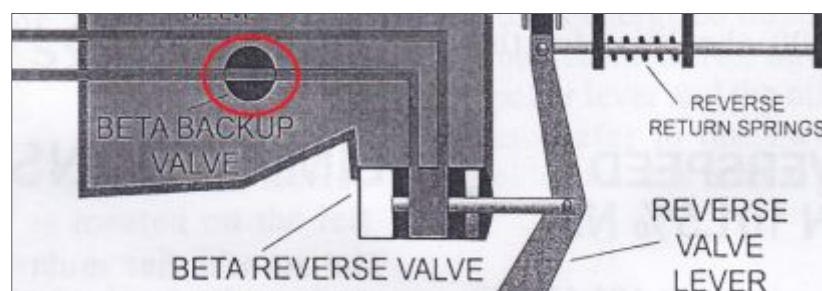


**Figura 34** Rango beta de a hélice

**Fuente:** (FlightSafety International, 2002)

#### 2.7.4 Sistema back-up beta

El sistema back-up beta previene que a las palas de cualquiera de las hélices siendo conducido dentro de paso de reversa en el evento de una falla de la válvula de reversa beta. Este sistema inicial no parte en el control normal de la hélice durante vuelo, manualmente en tierra, o reversa. Dicha válvula está siempre abierta y no afecta el suministro del aceite en cualquier posición. Con el agarradero de la palanca de potencia no torcida, el solenoide back-up beta se energizara cerrándose de este modo deteniendo todo suministro de aceite a la válvula de reversa beta permitiendo que el ángulo de la pala incrementarse.



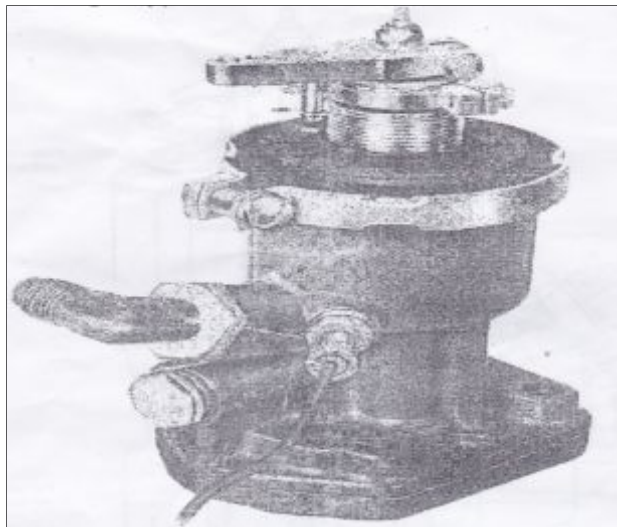
**Figura 35** Válvula beta backup

**Fuente:** (FlightSafety International, 2002)



### 2.7.5 Regulador de sobre velocidad de la hélice

La sobre velocidad puede ocurrir rápidamente si el regulador primario falla. Este regulador está diseñado para proveer protección contra la velocidad excesiva de la hélice en el caso de mal funcionamiento del regulador primario. Este provee control automático de una condición de sobre velocidad de la hélice por restricción del flujo de aceite para el domo de la hélice. La restricción de flujo de aceite permite a la hélice mantener el ángulo de la pala que producirá 101.5 % NP.

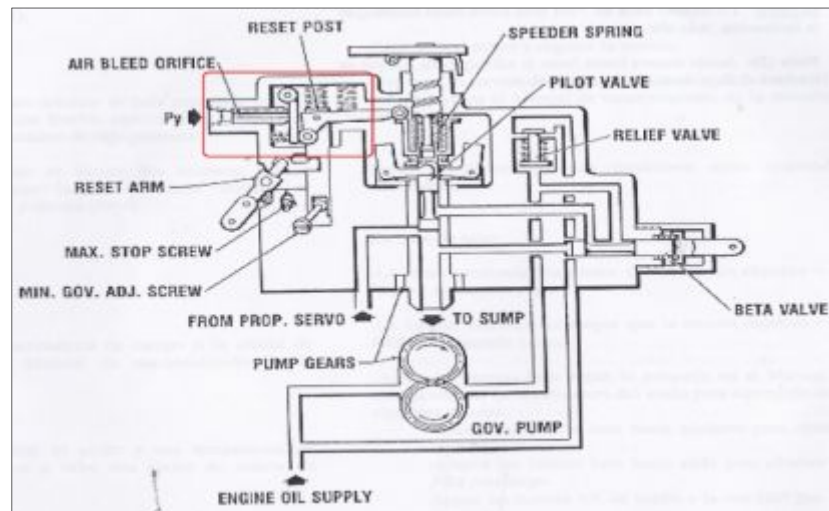


**Figura 36** Regulador de sobre velocidad

**Fuente:** (Oñate, 2007)

### 2.7.6 Regulador fuel topping

La función del regulador es para reducir el envío de combustible a el motor por medio de una señal de presión neumática a la FCU. El regulador NF causara que el FCU limite el suministro de combustible al motor si la velocidad rotacional de la hélice actual es mayor que 6 % mayor que la velocidad seleccionada con la palanca de la hélice.

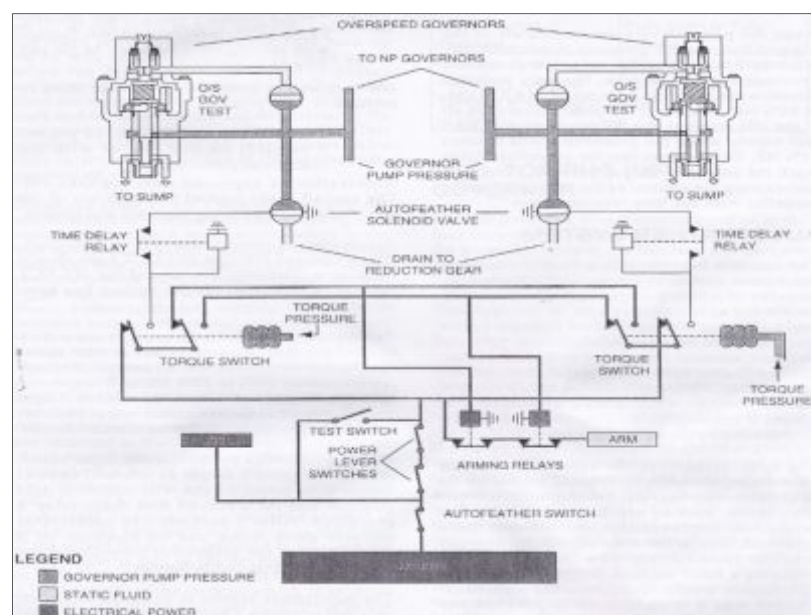


**Figura 37** Regulador Fuel Topping

**Fuente:** (Oñate, 2007)

### 2.7.7 Sistema de auto embanderamiento

La aeronave incorpora un sistema de auto embanderamiento sensible al torque para embanderar automáticamente la hélice de un motor fallando y bloquear simultáneamente el sistema de auto embanderamiento del motor opuesto. El sistema de auto embanderamiento fue diseñado para embanderar solo una hélice.



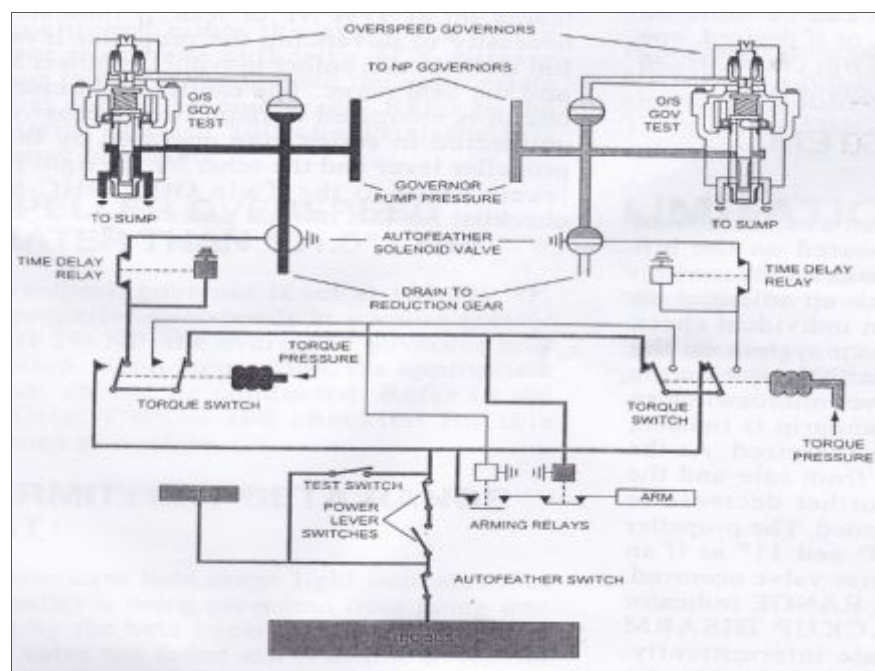
**Figura 38** Sistema de auto embanderamiento

**Fuente:** (FlightSafety International, 2002)

## 2.8 Operaciones Normales<sup>10</sup>

### 2.8.1 Comprobación del sistema de auto embanderamiento

El interruptor es accionado por resorte a la posición hacia abajo y tiene una posición de prueba no marcada. Este interruptor facilita una prueba en tierra del sistema de auto embanderamiento con los motores operando a bajas r.p.m. sin pasar por la palanca de potencia operando los micro - interruptores.



**Figura 39** Chequeo del sistema de auto embanderamiento

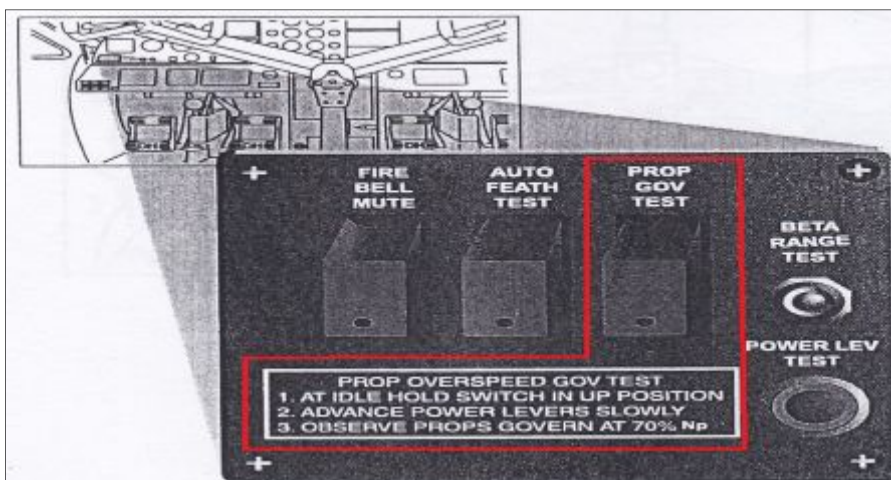
**Fuente:** (FlightSafety International, 2002)

### 2.8.2 Comprobación del regulador de sobre velocidad de la hélice

Este interruptor marca tres posiciones; prueba de sobre velocidad de la hélice, izquierda y derecha. Este interruptor es accionado por resorte a la posición central. Seleccionando a la izquierda o la derecha permite la prueba de cada regulador de sobre velocidad. Cuando se avanza la respectiva

<sup>10</sup> (FlightSafety International, 2002)

palanca de potencia, el respectivo regulador de la hélice en aproximadamente 70 % NP.

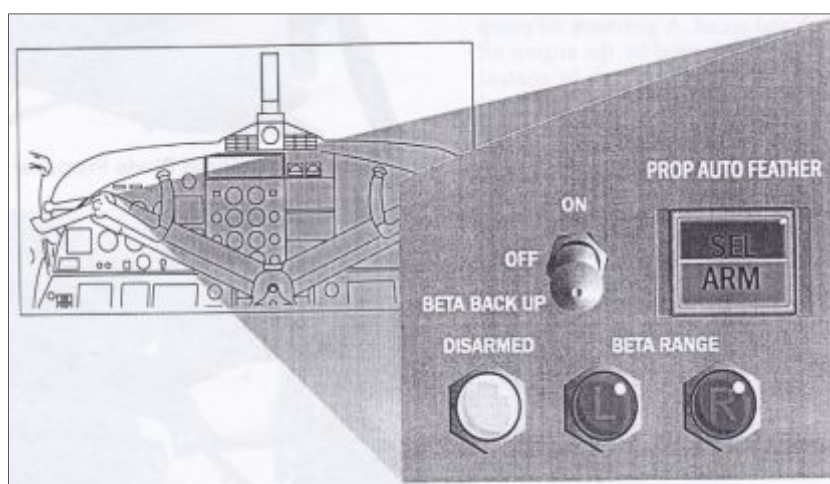


**Figura 40** Regulador de sobre velocidad de la hélice

**Fuente:** (FlightSafety International, 2002)

### 2.8.3 Comprobación del sistema back-up beta

El interruptor está conectado al solenoide back-up beta sobre cada motor y facilita un chequeo individual de cada sistema back-up beta de la hélice en tierra. Cuando seleccionamos a la posición ON el interruptor no pasa por el micro interruptor de la palanca de potencia de modo que cuando la palanca de potencia esta retorcida, el sistema back-up no está des energizado.

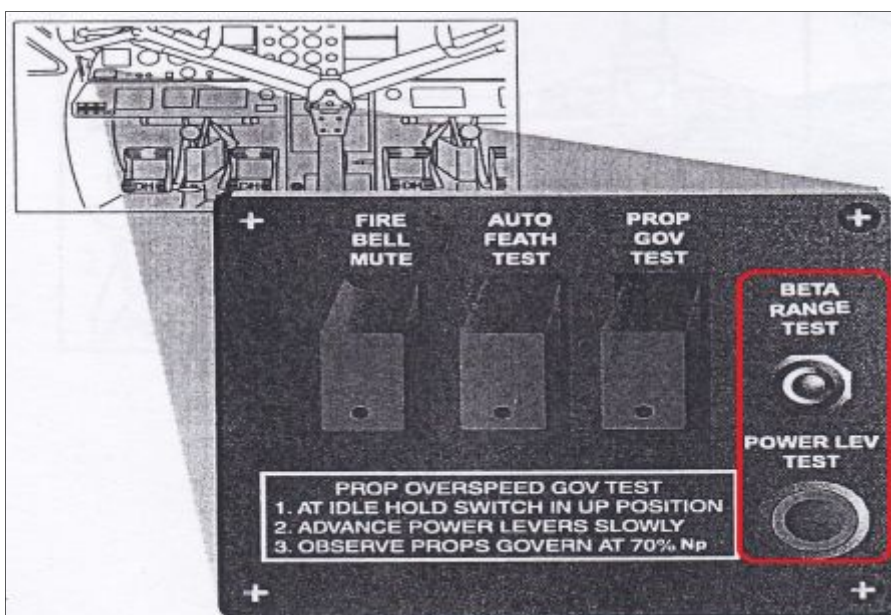


**Figura 41** Chequeo del sistema Backup Beta

**Fuente:** (FlightSafety International, 2002)

### 2.8.4 Prueba del micro interruptor de la palanca de potencia

Esta comprobación, la cual es incorporada con la comprobación del sistema back-up beta, confirmando la integridad en su totalidad del circuito eléctrico del sistema back-up beta.



**Figura 42** Prueba de la palanca de potencia

**Fuente:** (FlightSafety International, 2002)

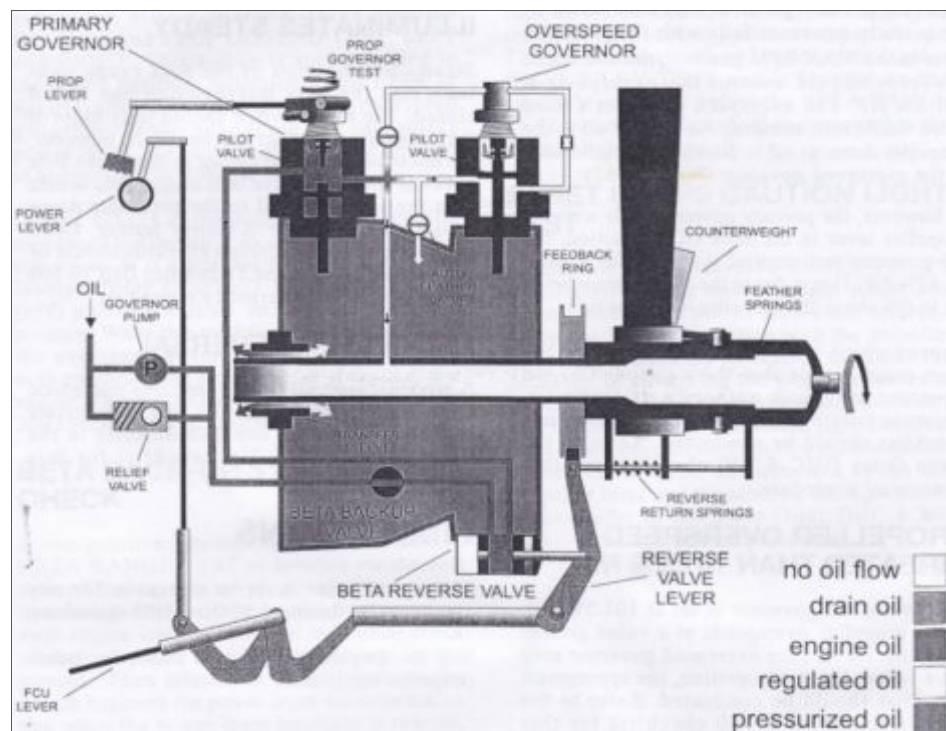
### 2.8.5 Prueba de luz de precaución del reseteo de las hélices

Una luz de precaución inscribe RESET PROPS, está instalada sobre el panel de la luz de precaución e ilumina si la palanca de potencia esta retardada por debajo de la posición de 75 % NG con las palancas de la hélice establecidas a 91 % NP o menos. Eso indica la necesidad de avanzar las palancas de la hélice a aumento completo antes de mover las palancas de potencia dentro del alcance beta.

## 2.9 Operaciones Anormales<sup>11</sup>

### 2.9.1 Falla del regulador primario

Una falla del regulador primario puede ser reconocida por una sobre velocidad de la hélice. Si la hélice está rotando más rápido que el valor establecido por la palanca de la hélice, el regulador primario puede estar fallando. Si el regulador primario falla con la palanca de la hélice en la posición máxima de r.p.m. el regulador de sobre velocidad debería controlar la sobre velocidad a 101.5 % NP.



**Figura 43** Falla del regulador primario

**Fuente:** (FlightSafety International, 2002)

### 2.9.2 Sobre velocidad de la hélice (más grande que 101.5 % NP)

El regulador de sobre velocidad está establecido a 101.5 % NP. Si la sobre velocidad de la hélice es un valor más grande que 101.5 % NP, el regulador de sobre velocidad puede tener falla.

<sup>11</sup> (FlightSafety International, 2002)

### 2.9.3 Luz intermitente del rango beta

Una luz intermitente del rango beta indica que la hélice está siendo prevenida de que entre en reversa por el sistema back-up beta. La válvula de reversa beta ha fallado y es incapaz de restringir el flujo de aceite al domo de la hélice mientras en el rango beta. Una falla de la válvula de reversa beta puede solo ser reconocida en el rango beta de la operación de la hélice.

### 2.9.4 Iluminación estable de la luz del rango beta

La iluminación estable de la luz del rango beta indica al micro interruptor ha cerrado la falla. El micro interruptor deberá solo cerrarse si la respectiva hélice rechaza los 9°. Si, sin embargo, el micro interruptor cierra la falla en vuelo, la válvula solenoide back-up beta se cerrará. Esto podría para el suministro de aceite al domo de la hélice causando a la hélice un embanderamiento ligero.

## 2.10 Hélice Hartzell HC-B3TN-3D<sup>12</sup>

**Tabla 3**

**Componentes de la Hélice Hartzell HC-B3TN-3D**

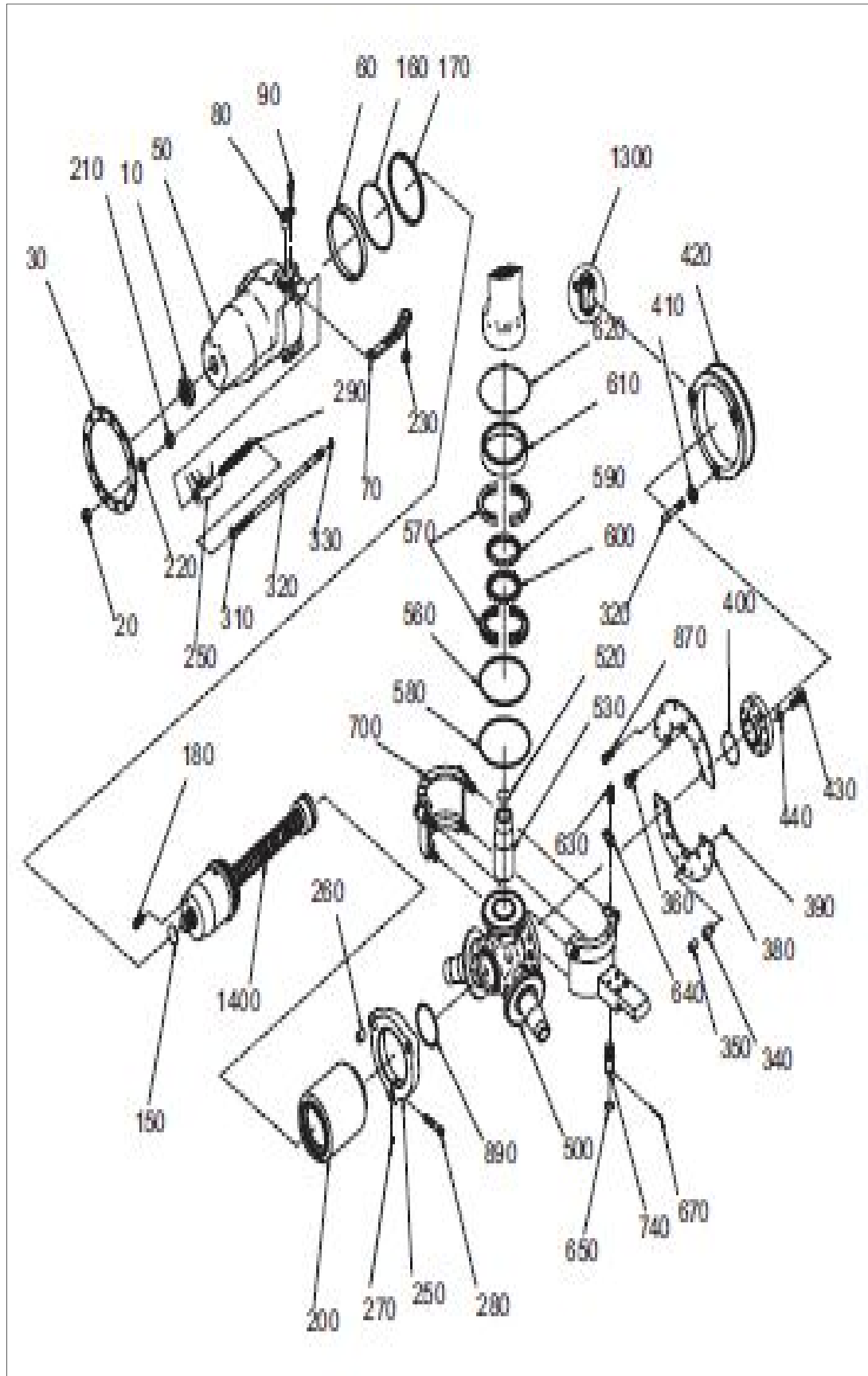
COMPONENTES DE LA HÉLICE HARTZELL HC-B3TN-3D		
ITEM	PART NUMBER	DESCRIPCIÓN
10	A-880-1	Tuerca de auto-seguridad
20	B-3359	Tuerca hexagonal de auto-seguridad
30	B-3049	Anillo del extremo de la varilla
50	C-3021-5	Unidad de pistón
60	A-862-1	Buje plástico
70	B-4016	Brazo de conexión
80	A-1464	Unidad del pin de conexión
90	B-3840-6	Tornillo
150	C-3317-020	Empaque, O-ring
160	C-3317-347-2	Empaque, O-ring
170	A-863	Sello protector del fieltro
180	B-3840-5	Tornillo de paso de bandera
200	B-1803-2	Cilindro

<sup>12</sup> (Propeller, 1987)

210	A-2043	Tuerca de seguridad
220	A-3439	Contratuerca hexagonal
230	A-944	Buje de tornillo de unión
-240	834-12	Unidad del collar guía
250	B-3440	Collar guía
260	A-3023	Buje plástico
270	A-114-6	Pasador apilador
280	A-2038-12	Cubierta superior del encastre del tornillo
290	A-3099	Resorte retención beta
-295	A-965	Arandela
-300	B-3002-2	Unidad de la varilla de paso bajo
310	A-3478-1	Retenedor de la varilla de paso bajo
320	B-3476A-2	Varilla beta
330	A-3482	Anillo de retención
340	A-3067-2	Orejeta guía
350	A-3023-2	Buje plástico
360	A-2051	Perno de cabeza hexagonal
-365	A-2037-1	Tornillo cubierto en la parte superior
380	C-3003-2	Plato. Montaje del cono de la hélice
390	B-3843-56ZD	Anillo de retención
400	C-3317-230	Empaque, O-ring
410	A-3439	Contratuerca hexagonal
420	B-3001	Collar de paso bajo
430	B-3339	Perno doble de cabeza hexagonal
440	A-2048-2	Arandela
-450	B-3808-4	Tuerca hexagonal de seguridad
-460	B-3851-0432	Arandela plana
500	840-60	Unidad del cubo
520	B-3897-1	Tapón de extensión
530	A-1891-()A	Tubo piloto
560	C-3317-232	Empaque, O-ring
570	A-1851	Anillo metálico del cojinete
-571	A-1851-A	El lado del cubo, carrera
-572	A-1851-B	El lado del cubo, carrera
580	A-1877	Anillo de alambre del cojinete
590	B-6144-2	Bola de acero diámetro 9/16"
600	B-3742	Espaciador de bola
610	A-1852	Anillo guía del cojinete
620	A-1854	Anillo de retención de alambre
630	B-3840-6	Tornillo
640	A-1305	Pesa de balanza
650	A-6119	Buje del brazo de unión
670	B-3838-3-3	Pasador de chaveta
700	838-()	Conjunto de abrazadera
740	A-304	Tornillo de unión
870	B-3384-4	Perno de cabeza hexagonal
890	C-3317-235	Empaque, O-ring
1300	A-3044	Conjunto del bloque de carbón
1400	831-79	Conjunto del resorte

Fuente: (Propeller, 1987)





**Figura 44** Componentes de la Hélice Hartzell HC-B3TN-3D

**Fuente:** (Propeller, 1987)

## 2.11 Información técnica

En aviación cada vez que se requiere realizar ya sea una tarea de mantenimiento y/o un overhaul se requiere de información técnica. Para la realización de dicha comprobación nos vamos a referir a la siguiente documentación técnica:

- Manual del Propietario de la Hélice (Propeller Owner's Manual)
- Carta de Servicio (Service Letter)
- Manual de Mantenimiento de la Hélice Hartzell (Propeller Maintenance Manual)

En la documentación encontramos información que va acorde a la comprobación del cambio de ángulo de las palas de la Hélice Hartzell detallando así lo siguiente:

- Periodos de overhaul
- Carta de servicio
- Procedimientos de inspección
- Prácticas de mantenimiento – Lubricación
- Localización y reparación de fallas (Troubleshooting)

### 2.11.1 Periodos de overhaul – (Propeller Owner's Manual 139)

#### E. Periodos de overhaul

En vuelo, la hélice se somete constantemente a la vibración del motor y la corriente de aire, así como elevadas fuerzas centrífugas. La hélice también está sujeta a la corrosión, así como deterioro general debido al envejecimiento. Bajo estas condiciones, puede producirse la fatiga del metal o fallos mecánicos. Con el fin de proteger su inversión, y para maximizar la vida útil de funcionamiento de la hélice, es esencial que una hélice debe

estar debidamente cuidada y revisada de acuerdo con los procedimientos de servicio recomendados.

**PRECAUCIÓN 1:** los períodos de revisión que se encuentran a continuación, aunque ocurre en el momento de la publicación, son para usos de referencia solamente. Los periodos de revisión pueden aumentarse o reducirse como resultado de la evaluación ingeniería.

**PRECAUCIÓN 2:** chequear la última revisión de la carta de servicio (service letter 61) para la información más actualizada.

- (1) Hélices de cubo de acero Hartzell instalados en los aviones de motor de turbina deben ser reparadas en 3000 horas de funcionamiento o 60 meses calendario, lo que ocurra primero. **Anexo A.**

#### **2.11.2 Carta de servicio - (Service Letter HC-SL-61-61Y)**

Periodos de overhaul de la hélice y límites de vida de servicio para hélices Hartzell, gobernadores y conjunto amortiguador de la hélice. **Anexo B.**

#### **2.11.3 Procedimientos de inspección - (Propeller Owner's Manual 139)**

##### 4. Periodos de overhaul

Las inspecciones detalladas a continuación se hacen sobre una base regular, ya sea antes del vuelo, durante las inspecciones periódicas requeridas, o si se observa un problema. Posibles soluciones a los problemas descubiertos durante las inspecciones, inspecciones adicionales, y los límites se detallan en los siguientes procedimientos de inspección.

##### A. Daño de la pala

Refiérase a la sección reparación de pala en el capítulo Practicas de Mantenimiento de este manual para obtener información sobre el daño de la pala.

#### B. Fuga de aceite o grasa

**Advertencia:** anormal o inusual fugas de grasa o vibración, donde la condición empieza repentinamente, puede ser una indicación de una falla de la pala de la hélice o componente de retención de la pala. Una separación de la pala en vuelo puede ocasionar la muerte, lesiones graves, y / o sustanciales daños materiales. Anormal o inusual fugas de grasa o vibración requieren una inspección inmediata por una posible pala agrietada o componente de retención de la pala.

**Nota:** una hélice nueva o recién reparada puede gotear ligeramente durante las primeras horas de funcionamiento. Esta fuga puede ser causada por el asentamiento de los sellos y empaques (O-ring), y la eslinga de lubricantes utilizados durante el ensamblaje. Tales fugas deben cesar dentro de los primeros diez horas de funcionamiento.

Las fugas que persiste más allá de las primeras diez horas de operación en una hélice nueva o recién reparada, o se produce en una hélice que ha estado en servicio durante algún tiempo requerirá la reparación. Una determinación debe hacerse en cuanto al origen de la fuga. La única fuga que es reparable es la remoción y reemplazo del empaque (O-ring) entre el motor y la brida de la hélice. Todas las otras reparaciones de fugas deben ser remitidas a un centro de reparación de la hélice con licencia apropiada. Una instancia de fugas de grasa anormal debe ser inspeccionada por el procedimiento siguiente:

##### (1) Remover el Spinner

**Precaución:** realizar una inspección visual sin la limpieza de las partes. Una grieta apretada frecuentemente es evidente por huellas de grasa

derivadas de la grieta. La limpieza puede eliminar esas pruebas y hacer una grieta prácticamente imposible de ver.

- (2) Realizar una inspección visual de las abrazaderas de la pala para localizar el origen de la fuga. Si se determina el origen de la fuga de grasa para ser una parte no crítica, tal como un empaque (O-ring), junta o sellador, las reparaciones pueden realizarse durante el mantenimiento programado, siempre que la seguridad de vuelo no está comprometida.
- (3) Si se sospecha que hay grietas en la abrazadera de la pala, lleve a cabo una inspección adicional antes del vuelo (por personal calificado en un centro de reparación de la hélice con licencia apropiada) para verificar la condición. Dichas inspecciones incluyen típicamente desmontaje de la hélice, seguido por la inspección de partes, utilizando métodos no destructivos, de acuerdo con los procedimientos publicados.
- (4) Si se encuentran grietas o componentes que fallan, estas partes deben ser reemplazadas antes del vuelo. Informar de estos hechos a las autoridades de aeronavegabilidad y a Hartzell hélice Inc. Soporte de productos. **Anexo C.**

#### **2.11.4 Practicas de Mantenimiento – (Propeller Owner’s Manual 139)**

### 2. Lubricación

#### A. Intervalos de lubricación

- (1) La hélice de ser lubricada a intervalos que no excedan las 100 horas o 12 meses calendario, lo que ocurra primero.

**Nota 1:** Si la operación anual es significativamente inferior a 100 horas, intervalos de lubricación del calendario deben reducirse a seis meses.

**Nota 2:** Si la aeronave es operada o almacenada bajo condiciones atmosféricas adversas, por ejemplo, alta humedad, aire salino, los intervalos de lubricación de calendario deben reducirse a seis meses.

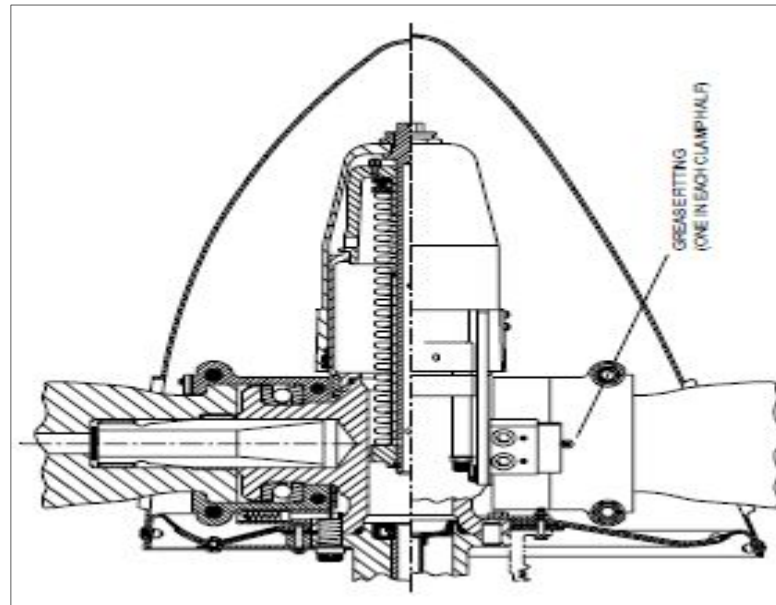
- (2) Los propietarios de aeronaves de alto uso pueden desear extender sus intervalos de lubricación. El intervalo de lubricación puede extenderse gradualmente después de la evaluación de revisiones anteriores de la hélice, con respecto al desgaste del rodamiento y la corrosión interna.
- (3) Las hélices nuevas o recientemente reacondicionadas deben lubricarse después de las primeras dos horas de funcionamiento, ya que las cargas centrífugas empujarán y redistribuirán la grasa.

**NOTA:** Los compradores de aeronaves nuevas deben revisar el libro de registro de la hélice para verificar si la hélice fue lubricada por el fabricante durante las pruebas en vuelo. Si no, la hélice debe ser reparada a la mayor brevedad posible. **Anexo D.**

#### B. Procedimientos de lubricación

**PRECAUCIÓN:** siga correctamente los procedimientos de lubricación para mantener un balance meticuloso del armado de la hélice.

- (1) Remover el Spinner de la hélice.
- (2) Cada abrazadera de la pala tiene dos puntos de lubricación. Retire las dos tapas de los puntos de lubricación y uno de los puntos de lubricación de cada abrazadera de la pala.



**Figura 45** Puntos de lubricación

**Fuente:** (Hartzell, 2006)

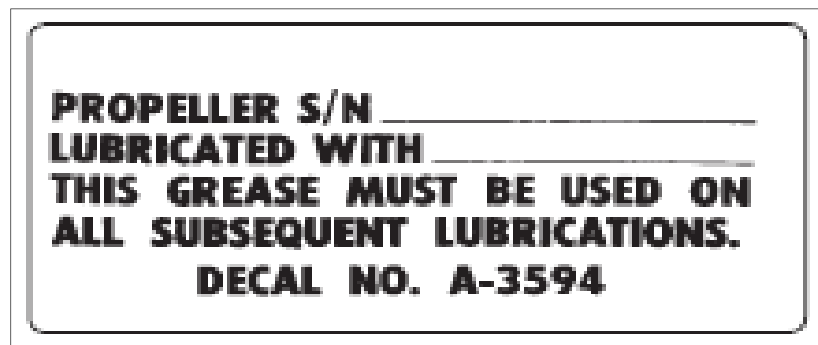
- (3) Use un pedazo de alambre de seguridad para aflojar cualquier bloqueo o grasa endurecida en los orificios roscados donde se retiró el punto de lubricación. **Anexo D.**

**ADVERTENCIA:** cuando mezcla los grasos Aeroshell 5 y 6, la grasa Aeroshell 5 debe ser indicada en la etiqueta (hartzell p / n a-3594) y la aeronave debe ser placardada para indicar que el vuelo es prohibido si la temperatura del aire exterior es menor de  $-40^{\circ} \text{f}$  ( $-40^{\circ} \text{c}$ ).

**PRECAUCIÓN:** use solo la grasa aprobada para la hélice Hartzell. Excepto en el caso de grasas Aeroshell 5 y 6, no mezcle especificaciones diferentes y/o marcas de grasa.

- (4) Grasas Aeroshell 5 y 6 ambas tienen una base de aceite mineral y tienen el mismo agente espesante; Por lo tanto, la mezcla de estas dos grasas es aceptable en hélices Hartzell.
- (5) Una etiqueta (Hartzell P / N A-3494) se aplica normalmente a la hélice para indicar el tipo de grasa utilizada previamente.

- (a) Este tipo de grasa se debe utilizar durante la relubricación a no ser que la hélice se ha desarmado y retirado la grasa vieja.
- (b) La purga de grasa vieja a través de los puntos de lubricación es sólo alrededor del 30 por ciento de efectividad.
- (c) Para reemplazar completamente una grasa con otra, la hélice debe ser desarmada de acuerdo con el manual de reparación aplicable.



**Figura 46** Etiqueta de lubricación

**Fuente:** (Hartzell, 2006)

**PRECAUCIÓN 2:** si se utiliza una pistola de grasa neumática, debe tomarse extremo cuidado para evitar una construcción de presión excesiva.

**PRECAUCIÓN 3:** La grasa se tiene que aplicar a todas las palas de un conjunto de hélice a la hora de lubricación.

- (6) Bombear grasa dentro del punto de engrase de la abrazadera de la pala hasta que emerja la grasa desde el agujero del punto de lubricación removido.

**Nota:** La lubricación es completa cuando la grasa emerge en un flujo constante sin bolsas de aire o la humedad, y tiene el color y la textura de la grasa nueva.

- (7) Repita el paso 2.B-4 para cada conjunto de la abrazadera de la pala.



- (8) Reinstale el punto de lubricación removido en cada abrazadera.
- (9) Torque los puntos de lubricación de acuerdo con la tabla de valores de torque.

**Nota:** asegúrese que la bola de cada punto de lubricación esté debidamente asentada.

- (10) Reinstale una tapa de lubricación en cada punto de lubricación. **Anexo E.**

A flange mounting bolts	100-105 Ft-Lbs (136-142 N•m) wet
F flange mounting bolts	80-90 Ft-Lbs (108-122 N•m)
N/P flange mounting bolts	100-105 Ft-Lbs (136-142 N•m) wet
W flange mounting nuts	120-125 Ft-Lbs (163-170 N•m)
Spinner mounting bolts	30-40 Ft-Lbs (41-54 N•m)
Piston nut (lock nut)	120 Ft-Lbs (163 N•m)*
Guide rod jam nuts	10 Ft-Lbs (14 N•m)*
Lubrication Fitting	4 Ft-Lbs (5 N•m)*
* Torque tolerance is $\pm 10$ percent unless otherwise noted.	
<u>NOTE 1:</u> Torque values are based on non-lubricated threads, unless otherwise specified.	
<u>NOTE 2:</u> Wet torque values denote the use of anti-seize compound MIL-PRF-83483.	

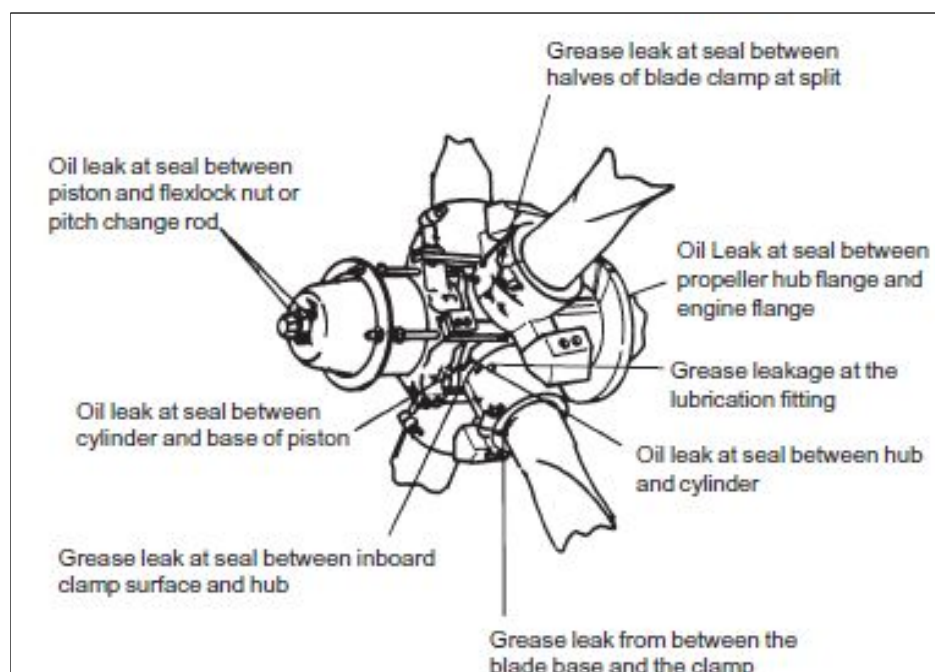
**Figura 47** Tabla de torque

**Fuente:** (Hartzell, 2006)

### 2.11.5 Localización y Reparación de fallas – (Propeller Maintenance Manual 118F)

#### F. Fugas de aceite – Causas probables:

- (1) O-ring defectuoso entre el cubo de la hélice y el motor.
- (2) Sello O-ring defectuoso entre el pistón y el cilindro.
- (3) Sello O-ring defectuoso entre el pistón y la varilla de cambio de paso.
- (4) Sello del filtro esta desplazado incorrectamente o pérdida de ajuste de lubricación.
- (5) Sello O-ring defectuoso entre el cubo y el cilindro.
- (6) Pistón defectuoso (fugas de aceite a través de la pared del pistón).



**Figura 48** Puntos de fuga de aceite y grasa

**Fuente:** (Hartzell, 2006)

G. Fugas de grasa – Causas probables:

- (1) Incorrecto torque o perdida de ajuste de lubricación.
- (2) Defectuoso ajuste de lubricación.
- (3) Pasadas fugas de grasa de las juntas de estanqueidad de la abrazadera de la pala.
- (4) Fugas de grasa de entre la abrazadera y la pala.
- (5) O-ring defectuoso entre el cubo de la hélice y la abrazadera de la pala. (fugas cuando la hélice esta parada). **Anexo G.**

## CAPÍTULO III

### DESARROLLO DEL TEMA

#### 3.1 Preliminares

La hélice a trabajar se compone de tres palas, las cuales trabajan por medio de la presión de aceite que envía el motor hacia la cúpula para el respectivo cambio de ángulos de las palas, según como se requiera, sea en vuelo o en tierra.

##### 3.1.1 Planteamiento de la hipótesis

Con la comprobación se pretende verificar el mantenimiento realizado a la Hélice Hartzell, ya que al realizar el overhaul de los componentes de la misma se debe estipular el estado de todos y cada uno de ellos y con esto garantizar la seguridad del avión. Dicha comprobación se realizará en tierra antes de proceder al montaje en el avión y mediante este procedimiento se optimizará el tiempo.

#### 3.2 Estudio técnico

En esta comprobación se busca verificar mediante una observación minuciosa de la hélice las condiciones físicas de los componentes internos de la hélice, y examinar que no haya fugas de aceite por la misma. Para lo cual se tomó como referencia del **Manual de Equipos y Herramientas**, la alternativa de implementar un Banco de Prueba Hidráulico. **Anexo H.**

#### 3.3 Análisis de factibilidad

En esta parte de la investigación se analiza las ventajas y desventajas de la alternativa para poder determinar los requerimientos técnicos de la misma con el fin de implementar el banco de prueba hidráulico.

### 3.3.1 Ventajas y Desventajas de la alternativa

#### Ventajas:

- Capacidad de obtener presiones altas de 380 PSI, permitiendo girar las palas de la Hélice Hartzell. **Anexo I.**
- Brinda un sistema con un grado de seguridad tanto al operador como a la máquina.
- Ofrece medios muy simples y sencillos de operar la máquina.
- Optimización de tiempo de trabajo en montaje y desmontaje de la hélice en caso de fugas de aceite.
- Fácil transportación del banco.
- Chequeo estático de la hélice.
- Usado de igual manera para prácticas didácticas.

#### Desventajas:

- El sistema puede ser contaminado con algunas partículas tal como es el polvo, metal y de materiales degradadores del fluido.
- Los sistemas hidráulicos no pueden ser completamente a prueba de fugas.

### 3.4 Parámetros de selección

Los parámetros de selección que se han considerado, son los siguientes:

- Aspecto técnico
- Aspecto humano
- Aspecto económico
- Aspecto complementario

### 3.4.1 Aspecto técnico

- **Funcionabilidad:** trata acerca de las características del banco de pruebas y hace que la misma cumpla con los fines para que fue implementada cumpliendo con los estándares planteados en operación, mantenimiento y seguridad.
- **Precisión:** nos permite medir la presión de aceite para el óptimo funcionamiento del banco de prueba, y el cambio del ángulo de la pala.
- **Fiabilidad:** es muy importante y trata de evaluar el funcionamiento satisfactorio de la comprobación.
- **Mantenimiento:** es significativo para que este banco se mantenga en un óptimo funcionamiento además dependiendo de la complejidad del sistema, realizando de manera práctica, fácil y con la dirección de su respectivo manual de mantenimiento.

### 3.4.2 Aspecto humano

- **Operación y control:** facilitar al operario perseguir una finalidad primordial la misma que constituye en la sencillez de operar y controlar el banco con el respectivo manual de funcionamiento para alargar la vida útil del mismo.
- **Seguridad:** se refiere a que se debe tener un alto grado de seguridad y así cuidar al operario y evitar incidentes y/o accidentes en la manipulación del banco de prueba.

### 3.4.3 Aspecto económico

- **Costo de implementación del banco de prueba:** este punto es de gran importancia y una adecuada decisión del material para la implementación del mismo tratando de buscar la alternativa más económica.
- **Costo de operación** Una vez implementado el banco de pruebas se busca economizar la energía utilizada en el proceso de operación.

### 3.4.4 Aspecto complementario

- **Espacio:** Se refiere al espacio ocupado por la máquina, y que no influya con la parte estructural de la institución.
- **Forma:** la estética debe ser precisa para simular un aspecto original y el estudiante realice prácticas sin ninguna complicación.

### 3.4.5 Matriz de evaluación

Tabla 4

Matriz de Evaluación

MATRIZ DE EVALUACION			
PARAMETROS EVALUACION	DE	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA IDEAL
<b>Funcionabilidad</b>		0.8	1
<b>Precisión</b>		0.9	1
<b>Fiabilidad</b>		0.9	1
<b>Mantenimiento</b>		0.7	1
<b>Operación y control</b>		1	1
<b>Seguridad</b>		0.9	1
<b>Costo de implementación</b>	<b>de</b>	0.7	1
<b>Costo de operación</b>		0.8	1
<b>Espacio</b>		0.6	1
<b>Forma</b>		0.8	1
<b>Total</b>		8.1	10
<b>Porcentaje (%)</b>		81%	100%

### **3.5 Selección de la alternativa**

Después de concluir el proceso del estudio técnico, el análisis de la alternativa y la evaluación de parámetros, se ha considerado que la alternativa adquirida presenta grandes resultados y puede ser implementado el banco para la comprobación del cambio de ángulo de las palas de la Hélice Hartzell.

### **3.6 Implementación del banco de prueba hidráulico**

La implementación del banco de pruebas hidráulico se basa en los requerimientos técnicos para la comprobación tomando en cuenta un costo moderado, la estructura logre soportar los componentes de dicho banco y adicional el peso de la hélice de 134 lbs, logrando alcanzar una fácil maniobrabilidad en el cambio de ángulo de las palas de la Hélice Hartzell. Para lo cual se detalla a continuación los elementos requeridos para la implementación del banco:

- Tubos cuadrado de 40mm
- Angulo de 2 pulg y
- Plancha de tool de 1/16 pulg
- Electrodo 6011
- Motor eléctrico 1hp
- Bomba hidráulica
- Cañerías de alta y baja presión
- Racores de acoplamiento rápido
- Manómetro de presión
- Válvula de paso
- Válvula selectora
- Radiador
- Reservorio
- Filtros
- Materiales eléctricos varios



Las propiedades mecánicas de los materiales y la utilización de los electrodos 6011 describen su capacidad bajo la acción de fuerzas externas las cuales son óptimas en la elaboración de las estructuras compactas para soportar el peso de los elementos del banco y el peso de la hélice.



**Figura 49** Estructura del banco de prueba hidráulico

Se implementó en la base de la estructura un ángulo de 2 pulg donde se procedió a diseñar la ubicación para todos los componentes tanto técnicamente permitiendo así asegurar la: bomba, motor, reservorio, radiador, filtros, cañerías.



**Figura 50** Ubicación de los componentes

Luego se procedió a revestir el banco totalmente con la plancha dando lugar a la colocación del panel de control donde van todos los instrumentos de control hidráulico y control eléctrico tales como: indicador de presión de aceite, válvula de paso, válvula selectora, instrumento de medición de carga y voltaje, luces piloto, circuit breaker y otros como: toma corriente y las cañerías de alta y baja presión.



**Figura 51** Revestimiento del banco de prueba



**Figura 52** Instalación del panel de control

Para la hélice se implementó una base y un banco de soporte el mismo que soportara el peso de la misma de 134 lbs, para finalizar se procedió a pintar el banco de pruebas hidráulico y el soporte de la hélice dándole un acabado maravilloso.



**Figura 53** Base de la Hélice



**Figura 54** Banco de soporte de la hélice



**Figura 55** Soldando las ruedas



**Figura 56** Pintando el banco de prueba



**Figura 57** Banco de prueba y soporte de la hélice

### 3.7 Comprobación del banco de pruebas

#### 3.7.1 Precauciones y normas de seguridad

Todas aquellas medidas de seguridad se deben tomar en cuenta siempre, antes, durante y después de cualquier operación, mantenimiento y reparación del equipo. El no cumplimiento de estas medidas de seguridad puede dar lugar a lesión al personal o un daño en el equipo de prueba. Todo el personal que manipule el equipo de prueba debe conocer la operación y el mantenimiento, para asegurar y prevenir algún daño al mismo.

Se debe dar una especial atención a los avisos de Precaución que aparezcan en el banco de pruebas.

- **Fuente eléctrica de alto voltaje:** para evitar lesión al personal, siempre desconecte la fuente de alimentación antes de realizar cualquier mantenimiento, limpieza o reparación del equipo.
- **Tareas de mantenimiento:** bajo ninguna circunstancia podrá realizar tareas de mantenimiento si no se encuentra calificado para ello.
- **Mantenimiento del banco de prueba:** antes de realizar cualquier tipo de mantenimiento, limpieza o la reparación del mismo, se debe asegurar que el sistema esté completamente apagado.
- **Uso de líquidos y de lubricantes:** observe todas las precauciones y advertencias en los envases al usar materiales consumibles, tales como aceite, disolventes y/o lubricantes. Los materiales consumibles pueden afectar la piel, los ojos y la zona respiratoria, use solamente dentro de un área ventilada, evite la respiración prolongada de estos vapores, si los materiales consumibles son inflamables, asegúrese que se guarden lejos del calor, chispa o flama.

- **Líneas hidráulicas de alta presión:** para evitar lesión a personal, siempre observe que no exista presión hidráulica en el sistema, antes de realizar tareas del mantenimiento o de reparación en el equipo.
- **Levantamiento de objetos pesados:** el banco de prueba, los elementos y los componentes pueden ser pesados. Asegure de alzarlos con equipo de elevación de la manera más apropiada.
- **Equipo ruidoso:** la operación normal del banco de pruebas provoca un ruido perjudicial para el medio auditivo. Por lo que se recomienda usar una protección adecuada para los oídos, precautelando con esto el bienestar del personal técnico.
- **Equipo de protección personal (E.P.P):** se debe utilizar la ropa adecuada y equipos de protección como: overol, orejeras, mascarilla, guantes, zapatos punta de acero para cualquier tipo de operación, mantenimiento o reparación del equipo.

### 3.7.2 Descripción general del banco de prueba

El banco de prueba realizara un trabajo determinado que será comprobar el cambio de ángulo de la Hélice Hartzell, que consta de una fuente de energía hidráulica, mangueras de conexión, válvulas, luces indicadoras de operación y los controles e indicadores requeridos para verificar el funcionamiento eficiente del mencionado equipo.



**Figura 58** Banco hidráulico

### **3.7.3 Preparación para la operación**

Antes de realizar alguna prueba con el banco, se realizó una Inspección del sistema para su correcto funcionamiento, y con esto garantizar el trabajo realizado. Además, se verifico que el área de trabajo se encuentre limpia y libre de herramientas y/o FOD para evitar daños al equipo y al personal.



**Figura 59** Área de trabajo limpia

Se observó que todo el sistema del equipo se encuentre correctamente como conexiones hidráulicas, conexiones eléctricas y componentes.



**Figura 60** Conexiones hidráulicas, eléctricas

Se verifico que el nivel de aceite del reservorio sea el requerido para la operación, si es necesario complete con aceite Turbo Oil 2380.



**Figura 61** Completando aceite Turbo Oil 2380

Se verifico que la hélice se encuentre completamente asegurada a la base del banco de soporte de la misma, evitando cualquier movimiento durante la entrega de presión de aceite.





**Figura 62** Hélice asegurada

Se verificó que las cañerías de alimentación y retorno estén correctamente instaladas y aseguradas tanto en el banco como en la base de la hélice evitando la presencia de fugas de aceite.



**Figura 63** Verificando cañerías de presión y retorno

Se observó que la llave de paso de la línea de retorno se encuentre cerrada para evitar que el aceite regrese al reservorio mientras se enviaba presión de aceite a la hélice.



**Figura 64** Llave de paso de línea de retorno

Se conectó la toma de corriente a 220v, energía que requiere el banco para su respectivo funcionamiento.



**Figura 65** Toma de corriente a 220v

Una vez que el banco estaba alimentado de energía eléctrica se verificó que el voltímetro marque el voltaje de 220v correspondiente.



**Figura 66** Voltímetro

Se observó que la válvula de doble vía se encuentre en la posición neutral la cual nos ayuda para que el sistema hidráulico se mantenga en reposo.



**Figura 67** Válvula de doble en posición neutral

Se verifico que la válvula de paso se encuentre completamente cerrada para evitar enviar presión a la hélice una vez que se abra la válvula de doble vía.



**Figura 68** Válvula de paso cerrada

Se observó que la presión en el indicador se encuentre en cero (0), permitiendo asegurarnos que la presión no se encuentra entregada a la hélice.



**Figura 69** Indicador de presión en cero

Se chequeo que el interruptor de la bomba, y el interruptor de las luces indicadoras y luz piloto se encuentren en la posición off.



**Figura 70** Interruptores en apagados

### 3.7.4 Operación del equipo

Esta sección determina las instrucciones necesarias para poner en operación el banco de prueba hidráulico, el mismo con el cual se realizará la comprobación del cambio de ángulo de las palas de la hélice hartzell. A continuación, se detallan claramente los controles y los indicadores del mismo:

Para encender el motor se manipulo el interruptor uno (1) colocándolo en la posición ON (encendido), permitiendo así que la bomba hidráulica empiece a funcionar.



**Figura 71** Interruptor encendido

Se colocó la válvula de doble vía a la posición uno (open), logrando que todo el sistema hidráulico se alimente de aceite.



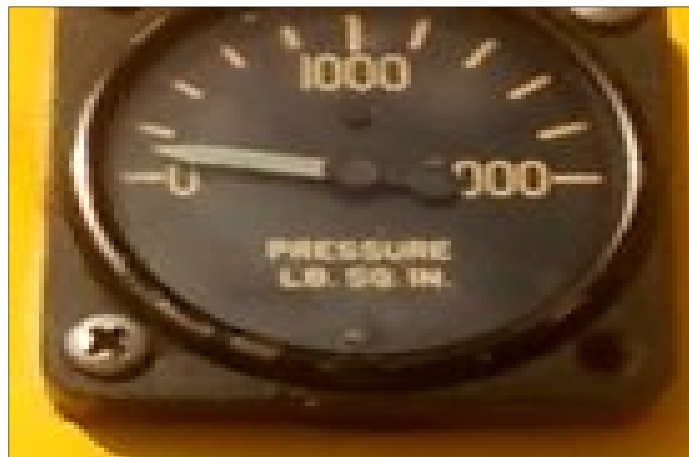
**Figura 72** Válvula de doble vía en la posición open

Se abrió la válvula de paso girándole en sentido anti horario hasta alcanzar la presión deseada de 380psi, para el respectivo cambio de las palas de la hélice. **Anexo I.**



**Figura 73** Enviando presión de aceite

Se fue observando en el indicador que la presión vaya aumentando respectivamente mientras se estaba abriendo la válvula de paso.



**Figura 74** Indicador de presión

Se esperó algunos minutos hasta que el cilindro se estaba llenando completamente de aceite alcanzando así la presión deseada para que logre vencer la fuerza del resorte y se pueda verificar que se está realizando la comprobación de la hélice.



**Figura 75** Presión de aceite en la hélice



**Figura 76** Cambiando el ángulo de las palas

Al momento que se alcanzó la presión de aceite deseada se cerró completamente la válvula de paso en sentido de las manecillas del reloj, para evitar una sobrepresión y que los componentes internos de la hélice no sufran ningún daño.



**Figura 77** Cerrando la válvula de paso

Una vez que se cerró la válvula de paso de igual manera se cambió la posición de la válvula de doble vía a la posición neutral, dejando a todo el sistema hidráulico en reposo.



**Figura 78** Válvula de doble en la posición neutral

Se apagó la bomba colocando el interruptor (1) a la posición off, permitiendo que ya no hay ninguna alimentación por parte de la misma hacia el sistema.





**Figura 79** Interruptor apagado

**Nota:** para tener una mejor verificación de que no haya fugas de aceite en la hélice, se recomienda dejar reposar la misma con la presión establecida y con el cambio de ángulo de las palas durante unas veinticuatro (24) horas, logrando comprobar de una mejor manera el Overhaul que se le ha realizado a la hélice está completamente correcto.



**Figura 80** Comprobando fugas de aceite

### 3.7.5 Alivio de presión y desconexión del equipo

Se abrió la llave de paso de la línea de retorno para que el aceite pueda fluir sin ningún problema al reservorio, al momento de operar la válvula de paso.



**Figura 81** Abriendo llave de paso de la línea de retorno

Se colocó la válvula de doble vía a la posición de cerrado (close), cambiando así la dirección del fluido hacia el reservorio.



**Figura 82** Válvula de doble vía en la posición close

Se alivió la presión de aceite abriendo la válvula de paso en sentido anti horario hasta que retorno completamente al reservorio.



**Figura 83** Aliviando presión de aceite

Se observó en el indicador que la presión estaba retornando a cero mientras se manipulaba la válvula de paso.



**Figura 84** Indicador de presión en cero

Mientras se estaba aliviando la presión se observó que cambiaba el ángulo de las palas retornando a su posición inicial.



**Figura 85** Palas de la hélice retornando al punto inicial



**Figura 86** Palas de la hélice en su punto inicial

Se cerró completamente la válvula de paso en sentido de las manecillas del reloj una vez que todo el aceite retorno al reservorio.



**Figura 87** Cerrando válvula de paso

Se colocó la válvula de doble vía en la posición neutral dejando el sistema hidráulico en reposo y listo para realizar una nueva comprobación de dicha hélice.



**Figura 88** Válvula de doble vía en la posición neutral

Una vez finalizada la comprobación se desconectó la toma de corriente de 220v y posteriormente se almaceno el equipo dejándole en un lugar seco, libre de humedad para que no pueda sufrir daños estructurales.



**Figura 89** Toma de corriente de 220v

Por medio de las pruebas realizadas con el banco de pruebas hidráulico se logró comprobar el cambio de ángulo de las palas de la hélice hartzell de una manera fácil, cómoda y segura, permitiendo un ahorro de tiempo al realizar dicho trabajo.



**Figura 90** Realizando la comprobación




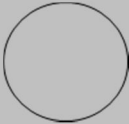


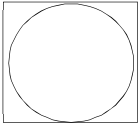
**Figura 91** Cambio de ángulo de las palas alcanzado

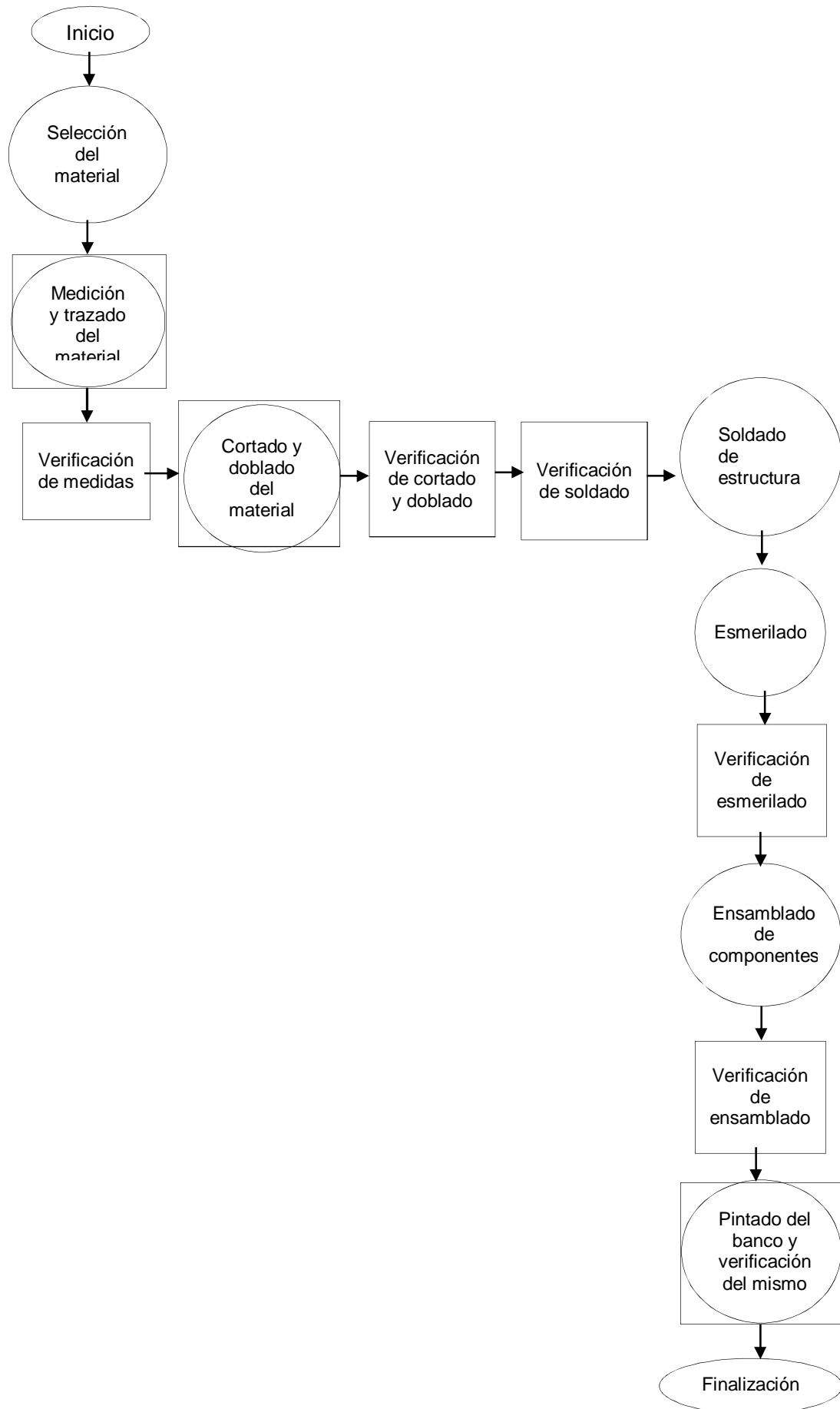
### 3.8 Diagrama de flujo del banco de pruebas hidráulico

La implementación del banco se basa de acuerdo a los manuales de procesos, A.S.M.E (Sociedad de Ingenieros Mecánicos de USA), donde cada una de las operaciones se la define con un símbolo que representa la acción a realizarse.

**Tabla 5**

#### Simbología del diagrama de flujo

SIMBOLOGÍA DEL DIAGRAMA DE FLUJO			
NOMBRE	SÍMBOLO	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN
<b>Elipse</b>		Inicio/Fin	Indica el inicio y el final del flujo
<b>Circulo</b>		Operación	Indica principales fase del proceso: medir, cortar, esmerilar, soldar, pintar.
<b>Cuadrado</b>		Inspección	Verifica la calidad
<b>Líneas de flujo</b>		Dirección de flujo	Indica el sentido del flujo
<b>Cuadrado y circulo</b>		Actividad combinada	Indica varias actividades simultáneas.





## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **4.1 CONCLUSIONES**

- Se realizó la recopilación de información acerca de la operación propia de la aeronave para que la comprobación de paso de la Hélice Hartzell sea lo más satisfactoriamente posible basándonos en manuales.
- Verificando la documentación técnica se logró implementar un banco de pruebas hidráulico simulando el motor de la aeronave permitiendo realizar dicha comprobación de una manera fácil, segura, cómoda y exitosa.
- Las pruebas realizadas con la implementación del equipo fueron satisfactorias, cumpliendo el objetivo de comprobar el cambio de ángulo de las palas de la Hélice Hartzell, fugas de aceite y permitiendo verificar el overhaul realizado a la misma.

#### **4.2 RECOMENDACIONES**

- Es necesario conocer la documentación técnica antes de realizar cualquier tarea de mantenimiento en la aeronave permitiendo igualmente prolongar el servicio de la misma.
- Se deben establecer parámetros los cuales permitan realizar la comprobación de la mejor manera alcanzando el propósito esperado.
- Es importante tener conocimiento de la operación y uso de máquinas herramientas de igual manera del EPP antes de ejecutar cualquier tipo de pruebas para evitar incidentes y/o accidentes tanto al personal técnico como al equipo a utilizarse.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

### A

**Aerodinámica:** Es la rama de la mecánica de fluidos que se ocupa del movimiento del aire y otros fluidos gaseosos, y de las fuerzas que actúan sobre los cuerpos que se mueven en dichos fluidos.

**Aeronavegabilidad:** Aptitud técnica y legal que deberá tener una aeronave para volar en condiciones de operación segura.

**Alabe:** Un álabe es la paleta curva de una turbo máquina o máquina de fluido roto dinámica.

**Avión:** Aerodino propulsado por motor que debe su sustentación en vuelo principalmente a reacciones aerodinámicas ejercidas sobre superficies que permanecen fijas en determinadas condiciones de vuelo.

### B

**Bomba hidráulica:** máquina generadora que transforma la energía en energía hidráulica del fluido incompresible que mueve.

### E

**Extradós:** se llama extradós a la parte superior curva del ala de un avión o de un perfil aerodinámico.

### H

**Hidromática:** su trabajo se realiza por medio de presión de aceite del motor.

### I

**Intradós:** se llama intradós a la parte inferior del ala de un avión. Es donde se presenta más presión y menor velocidad a comparación del extradós en el ala de una aeronave.

**M**

**Motor:** es una maquina capaz de transformar energía eléctrica en energía mecánica para realizar un trabajo.

**S**

**Solenoid:** es cualquier dispositivo físico capaz de crear un campo magnético sumamente uniforme e intenso en su interior, y muy débil en el exterior.

**T**

**Turbina:** La turbina es un motor rotativo que convierte en energía mecánica la energía de una corriente de agua, vapor de agua o gas.

**V**

**Velocidad relativa:** La velocidad relativa entre dos cuerpos es el valor de la velocidad de uno de ellos tal como la mediría un observador situado en el otro. Es un método utilizado para calcular la velocidad absoluta de un punto tomando como referencia la velocidad de otro punto.

**Viento relativo:** Dirección y velocidad del viento con relación a la superficie de sustentación de una aeronave (alas en un avión, rotor principal en un helicóptero).

## ABREVIATURAS

**STOL:** Despegue y aterrizaje corto (Short Take-Off and Landing)

**FCU:** Unidad de Control de Combustible (Fuel Control Unit)

**PSI:** Libra-fuerza por pulgada cuadrada (Pounds-force per Square Inch)

**PN:** Número de parte (Part Number)

**SN:** Número de serie (Serial Number)

**EPP:** Equipo de Protección Personal (Equipment Protection Personal)

**FOD:** Daños por Objetos Extraños (Foreing Object Damage)

**BIBLIOGRAFÍA**

- Aerointer. (15 de Octubre de 2016). *www.aerointer.jimdo.com*. Obtenido de <https://aerointer.jimdo.com/flota/dhc-6-twin-otter/>
- Baldó, D. (21 de Octubre de 2016). *www.ingeniadores.es*. Obtenido de <http://www.ingeniador.es/2014/12/01/surcando-los-cielos-i/>
- FlightSafety International. (2002). *Pilot Training Manual*. New York: FlightSafety Internacional, Inc.
- Hartzell. (2006). *Application Guide*. Piqua: Hartzell Propeller Inc.
- Hartzell. (2006). *Steel Hub Turbine Propeller Maintenance Manual*. Piqua: Hartzell Propeller Inc.
- IAAFA. (2002). *Técnico de motores PT6*. Texas: Lackland Air Force Base.
- López Crespo, J. (18 de Octubre de 2016). *Módulo 17 Hélices*. Obtenido de [https://books.google.com.ec/books?id=K1BCSTx2JF4C&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=K1BCSTx2JF4C&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Muñoz, M. (25 de Octubre de 2016). *www.manualvuelo.com*. Obtenido de <http://www.manualvuelo.com/SIF/SIF32.html>
- Oñate, A. E. (2007). *Conocimientos del Avión* (6ta Ed.). Madrid: Thomson-Paraninfo.
- Vallbona Vilajosana, E. (2011). *Motor de turbina*. Barcelona: Cesda.

# ANEXOS

