



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ESPACIALES

**CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN
MOTORES**

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

**TEMA: “ENSAMBLAJE DE UN HELICÓPTERO DE
AEROMODELISMO CON LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA
CÁMARA DE HUMO PARA DEMOSTRAR LA SUSTENTACIÓN,
AERODINÁMICA Y COMPONENTES BÁSICOS DE LA
AERONAVE”**

AUTOR: RAMOS JÁCOME LUIS FERNANDO

DIRECTOR: TLGO. JOHNATAN VALENCIA

LATACUNGA

2017



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ESPACIALES
CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, ***“ENSAMBLAJE DE UN HELICÓPTERO DE AEROMODELISMO CON LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA CÁMARA DE HUMO PARA DEMOSTRAR LA SUSTENTACIÓN, AERODINÁMICA Y COMPONENTES BÁSICOS DE LA AERONAVE”*** realizado por el señor ***RAMOS JÁCOME LUIS FERNANDO***, 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 ***RAMOS JÁCOME LUIS FERNANDO*** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, Febrero del 2017

Atentamente,

TLGO. JOHNATAN VALENCIA

Director



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ESPACIALES
CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **LUIS FERNANDO RAMOS JÁCOME**, con cédula de identidad N° 1803109014, declaro que este trabajo de titulación **“ENSAMBLAJE DE UN HELICÓPTERO DE AEROMODELISMO CON LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA CÁMARA DE HUMO PARA DEMOSTRAR LA SUSTENTACIÓN, AERODINÁMICA Y COMPONENTES BÁSICOS DE LA AERONAVE”** 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 virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, Febrero del 2017

LUIS FERNANDO RAMOS JÁCOME

C.C. 1803109014



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ESPACIALES
CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA**

AUTORIZACIÓN

Yo, ***LUIS FERNANDO RAMOS JÁCOME***, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución la presente trabajo de titulación ***“ENSAMBLAJE DE UN HELICÓPTERO DE AEROMODELISMO CON LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA CÁMARA DE HUMO PARA DEMOSTRAR LA SUSTENTACIÓN, AERODINÁMICA Y COMPONENTES BÁSICOS DE LA AERONAVE”*** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Latacunga, Febrero del 2017

LUIS FERNANDO RAMOS JÁCOME

C.C. 1803109014

DEDICATORIA

A mi hija Laura Ramos, mi esposa Yolanda Suárez, mi tía Nieves Jácome y Susana Jácome, y a mi primo José Flores y su esposa Pamela Rosero, por su apoyo incondicional y por ayudarme a luchar cada día con palabras de ánimo hasta ver este sueño hecho realidad.

A mi madre Laura Jácome, mi tía Gladys Jácome y mis abuelos Luis Jácome y Serafina Medina que desde el cielo, con su bendición, siempre me guían por el camino del bien para ser buen padre y esposo cada día.

Luis Fernando Ramos Jácome

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que me apoyaron en este largo camino, para ver cumplido este sueño tan anhelado. De manera especial al Sr. Eduardo Carrillo que fue una gran ayuda y guía. Así mismo, al gimnasio *Extreme Gym* por facilitarme sus instalaciones para poder hacer las pruebas de vuelo.

Luis Fernando Ramos Jácome

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xiv

CAPÍTULO I

TEMA

1.2 Planteamiento del problema	2
1.3 Justificación	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 General	4
1.4.2 Específicos.....	5
1.5 Alcance	5

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción	6
2.2 NOCIONES BÁSICAS – FUERZAS AERODINÁMICAS.....	11
2.2.1 El proceso de sustentación.....	12

2.2.1.1 Tipos de perfiles.....	12
2.2.1.2 Ángulo de ataque y ángulo de incidencia.....	14
2.2.1.3 Densidad de la masa de aire	15
2.2.1.4 Velocidad del viento relativo	16
2.2.2 Peso del helicóptero.....	16
2.2.3 Tracción o empuje.....	16
2.2.4 Resistencia	17
2.2.5 Vuelo estacionario.....	17
2.2.6 Vuelo traslacional.....	18
2.2.7 Fuerza aerodinámica de sustentación	18
2.2.8 Autorrotación.....	19
2.3 TIPOS DE HELICÓPTEROS A RADIO CONTROL	19
2.3.1 Helicópteros de dos canales	20
2.3.2 Helicópteros de tres canales.....	20
2.3.3 Helicópteros de cuatro canales	21
2.3.4 Helicópteros de seis canales	21
2.3.5 Helicópteros coaxiales	21
2.4 COMPONENTES BÁSICOS DE UN HELICÓPTERO DE RADIO CONTROL	22
2.4.1 Rotor principal.....	22
2.4.1.1 Aspas del rotor principal.....	22
2.4.1.2 Plato cíclico.....	23
2.4.1.3 Servomotores del plato cíclico	23
2.4.2 Rotor de cola.....	24
2.4.2.1 Aspas del rotor de cola	24
2.4.2.2 Funcionamiento del rotor de cola.....	24
2.4.2.3 Motor Brushless	25

2.4.2.4 Caja de reducción	26
2.4.2.5 Chasis estructural	27
2.5 COMPONENTES DEL SISTEMA DE RADIO CONTROL.....	27
2.5.1 Receptor RG631B.....	28
2.5.2 Dispositivo de fallo de señal A01L	28
2.5.3 Control Remoto.....	29
2.6 CÁMARA DE HUMO AB-900.....	29
2.7 GYRO	30

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.1 PRELIMINARES.....	31
3.2 ENSAMBLAJE DEL HELICÓPTERO <i>BLADE</i> 450 RC.....	31
3.2.1 Acoplamiento del motor y servomotores al chasis del helicóptero.....	31
3.2.2 Ensamblaje del rotor de cola.....	32
3.2.3 Unión del rotor principal al chasis	34
3.2.4 Instalación de los Receptores	35
3.3 CALIBRACIÓN DEL PLATO CÍCLICO CON EL SISTEMA DE RADIO CONTROL	36
3.3.1 Calibración del Cíclico.....	36
3.4 DEMOSTRACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN AERODINÁMICA DEL HELICÓPTERO CON UNA CAMARA DE HUMO.....	43
3.4.1 Despegue.....	43
3.4.2 Giros del helicóptero en el aire	44
3.4.3 Aterrizaje.....	45
3.5 FLUJOGRAMA DEL PROCESO DE ENSAMBLAJE DE UN HELICÓPTERO A ESCALA (MODELO <i>BLADE</i> 450)	47

CAPÍTULO IV

4.1 CONCLUSIONES	48
4.2 RECOMENDACIONES	49
GLOSARIO	51
ABREVIATURAS	54
BIBLIOGRAFÍA	55
ANEXOS	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Bamboo Dragonfly	6
Figura 2 Boceto de Leonardo Da Vinci	7
Figura 3 Boceto de Sir George Cayley	7
Figura 4 Aeronave en miniatura de Gustave Ponton d'Amécourt	8
Figura 5 Autogiro de Juan de la Cierva y Cornú	9
Figura 6 Bisagra para las hélices.....	10
Figura 7 Diagrama de empuje vertical	12
Figura 8 Partes de un perfil.....	13
Figura 9 Ángulos de ataque.....	15
Figura 10 Angulo de incidencia.....	15
Figura 11 Fuerzas de tracción, sustentación y peso.....	17
Figura 12 Vuelo estacionario en rescate de victimas.....	18
Figura 13 Descomposición de la Fuerza Aerodinámica.....	19
Figura 14 Helicóptero RC de dos canales.....	20
Figura 15 Helicóptero Blade 450 profesional	21
Figura 16 Helicóptero coaxial.....	22
Figura 17 Aspas del rotor principal	23
Figura 18 Plato cíclico.....	23
Figura 19 Servomotores y Bieletas de Mando	24
Figura 20 Aspas del Rotor de cola.....	24
Figura 21 Rotor de cola.....	25
Figura 22 Servomotor del Rotor de Cola.....	25
Figura 23 Motor Brushless	26
Figura 24 Engranaje de Reducción.....	26
Figura 25 Banda de Transmisión y Rotor de cola.....	27
Figura 26 Chasis del Helicóptero	27
Figura 27 Receptor GR631B.....	28
Figura 28 Dispositivo de Fallo de Señal RA01L.....	29
Figura 29 Control Remoto.....	29
Figura 30 Cámara de Humo Italy Audio AB-900	30
Figura 31 Gyro	30
Figura 32 Acoplamiento de los Servomotores al Chasis.....	32

Figura 33 Instalación de Motor Brushless al Chasis	32
Figura 34 Rotor de Cola y sus Partes.....	33
Figura 35 Banda de Tracción y Engranaje del Chasis	34
Figura 36 Componentes Principales del Chasis del Helicóptero.....	35
Figura 37 Ubicación del Receptor RG631B	35
Figura 38 Ubicación de los dispositivos	35
Figura 39 Configuración para Helicópteros RC Versión 450.....	36
Figura 40 Comprobación del Funcionamiento de los Servomotores.....	37
Figura 41 Marcas Previas antes de la Calibración del Plato Cíclico	37
Figura 42 Verificación sin aceleración del Plato Cíclico.....	38
Figura 43 Verificación al 50% de Aceleración del Plato Cíclico	38
Figura 44 Verificación al 100% de Aceleración del Plato Cíclico	38
Figura 45 Verificación para el Giro hacia la Izquierda.....	39
Figura 46 Verificación para Giro hacia la Derecha.....	39
Figura 47 Comprobación del movimiento hacia Adelante.....	40
Figura 48 Comprobación del movimiento hacia Atrás.....	40
Figura 49 Configuración del Control Remoto (SWASH MIX)	41
Figura 50 Ajuste de las Bieletas de las Aspas	41
Figura 51 Ubicación de las Bieletas Izquierda y Derecha.....	42
Figura 52 Ubicación de las Bieletas Delanteras y Bieleta Posterior.....	42
Figura 53 Despegue del Helicóptero.....	43
Figura 54 Despegue y Succión del Humo.....	44
Figura 55 Movimiento hacia Adelante.....	44
Figura 56 Movimiento hacia Atrás.....	45
Figura 57 Descenso del Helicóptero	45
Figura 58 Aterrizaje del Helicóptero.....	46

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se desarrolló con el objetivo de observar y manipular los componentes básicos de un helicóptero real a escala, por medio del ensamblaje de un prototipo de aeromodelismo. Las aplicaciones que se pueden realizar con este dispositivo son muy variadas, pero en este caso nos vamos a centrar en los componentes básicos de una aeronave real para demostrar las fuerzas en la sustentación de la aeronave. En este sentido, el primer lugar se aborda teóricamente sobre las fuerzas de sustentación de los helicópteros. Luego se explicitan los componentes básicos de la aeronave. Posterior a estos dos momentos, se describen, paso a paso, los mecanismos de ensamblaje y de calibración de los componentes electrónicos de un helicóptero *Blade 450* y, se realizan las explicaciones respecto a las pruebas de vuelo para comprobar el correcto proceso de ensamblaje. Finalmente, se realizan las pruebas mediadas por la cámara de humo para demostrar la dinámica de sustentación, fluidez del aire a través de las aspas del rotor principal. La cámara de humo constituye una herramienta importante para el método de observación directa del funcionamiento de la aeronave.

PALABRAS CLAVE:

- **ENSAMBLAJE**
- **COMPONENTES BÁSICOS**
- **AEROMODELISMO**
- **FUERZAS AERODINAMICAS**
- **CÁMARA DE HUMO**

ABSTRACT

This research was developed with the objective to observe and manipulate the basic components of a scale real helicopter, by assembling a prototype of aero-modelling.

The applications that can be realized with this device are varied, but in this case we are going to focus on the basic components of a real aircraft to demonstrate the forces in the sustentation of the aircraft. In this way; first, the project mentions the theoretically sources of the helicopter lift support forces. Then, the basic components of the aircraft are explained. After these two moments, the assembly and calibration mechanisms of the electronic components of a Blade 450 helicopter are described step by step; and also it will explain the flight tests to verify the correct assembly process.

Finally, the mediated tests by a smoke chamber are performed to demonstrate the dynamics of lift, air flow through the main rotor blades. The smoke chamber is an important tool for the direct observation method of the operation of the aircraft.

KEYWORDS:

- **ASSEMBLY**
- **BASIC COMPONENTS**
- **AERO-MODELLING**
- **AERODYNAMIC FORCES**
- **SMOKE CHAMBER**

Checked by:
Lic. Diego Granja P.
English teacher UGT

CAPÍTULO I

“ENSAMBLAJE DE UN HELICÓPTERO DE AEROMODELISMO CON LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA CÁMARA DE HUMO PARA DEMOSTRAR LA SUSTENTACIÓN, AERODINÁMICA Y COMPONENTES BÁSICOS DE LA AERONAVE”

1.1 Antecedentes

Contribuyendo a la “Formación Tecnológica Superior en el Ecuador”, la Fuerza Aérea Ecuatoriana (FAE) plantea en 1999 la creación del “Instituto Superior Aeronáutico” (ITSA), con la finalidad de preparar a profesionales, civiles y/o militares, capacitados en el campo de la aviación. En la actualidad, el ITSA forma parte de la oferta académica proporcionada por la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”, como la Unidad de Gestión de Tecnologías. Este recorrido académico constituye el principal antecedente a considerar ya que a lo largo de los últimos quince años, se ha constituido en uno de los centros referentes en el campo técnico, tecnológico y profesional del campo aeronáutico en el Ecuador, ya que sus carreras se han fortalecido con el objetivo de entregar al campo empresarial y estatal a mecánicos (aeronáuticos y automotrices), electrónicos y profesionales de las áreas de la logística del transporte, telemática y seguridad¹. Las modalidades de enseñanza se han ampliado ofertando: presencial y a distancia. La Unidad de Gestión de Tecnologías es una institución que contribuye de forma eficiente al desarrollo del país.

Por otro lado, se considera que la permanente demanda de estudiantes que acuden a este centro de estudios superiores, exige a los docentes y autoridades una mejora continua de la experiencia educativa con la implementación de recursos didácticos que vayan a la par del avance Científico y Tecnológico. La actual misión de la Institución (en el campo de la carrera de Mecánica Aeronáutica mención Motores) menciona que se busca “formar tecnólogos aeronáuticos altamente competentes en el

¹ Se puede revisar la oferta académica del ITSA en la siguiente página web: <http://goo.gl/vUfEsc>

mantenimiento de aeronaves, dispuestos a aplicar sus conocimientos en la solución de problemas en sus campos de acción y comprometidos con la sociedad Ecuatoriana” (ESPE, 2016). El modelo pedagógico insertó en la identidad institucional hace referencia a un aprendizaje basado en la solución de problemas contextualizados en nuestro país. Es en este sentido que también se planteará la revisión del modelo pedagógico en el recorrido histórico del ITSA hoy llamado Unidad de Gestión de Tecnologías de la ESPE, ya que para lograr un aprendizaje situado en la resolución de problemas, primero se debe alcanzar un aprendizaje por logros (inserto en la identidad institucional hacia el año 2009, que posteriormente situaremos y problematizaremos).

El modelo de aprendizaje por logros contribuye directamente al aprendizaje por resolución de problemas. Estos dos modelos se complementan y pueden coexistir en la experiencia de aprendizaje que se desarrolla en las aulas y talleres. La contribución que se plantea, sitúa al investigador como parte del *corpus estudiantil* del ITSA hacia el 2009, correspondiente a la carrera de “Mecánica Aeronáutica mención Motores”. Y desde su paso por tan pertinente carrera para la sociedad ecuatoriana, planteará una problemática que constituye una contribución concreta para mejorar el aprendizaje de las futuras generaciones de tan eminente institución.

1.2 Planteamiento del problema

A nivel mundial, las carreras técnicas y tecnológicas, no solo requieren de los fundamentos teóricos que son necesarios para avanzar en el aprendizaje de cualquier área, sino también de los fundamentos prácticos para la adaptación e innovación tecnológica. Estos últimos son importantes para retener el conocimiento teórico, mediante la experimentación y manipulación de objetos y herramientas tal como lo indica la metodología constructivista del “aprender haciendo”.

De acuerdo con la misión de la U.G.T. para formar los mejores profesionales aeronáuticos, se debe contar con un material didáctico

adecuado y actualizado que se pueda disponer en cualquier espacio tales como talleres, aulas, hangares, entre otros. La movilidad de este material posibilitaría respuestas creativas e innovadoras tanto para docentes como estudiantes en momentos en los cuales algún espacio de aprendizaje mencionado no se pueda ocupar. No se descuidaría el aprendizaje de los estudiantes y se fortalecerían los conocimientos desarrollados.

En la Carrera de Mecánica Aeronáutica, en algunas materias de especialización, se pudo observar que al momento de su análisis práctico, al no contar con material didáctico de fácil traslado al aula, los fundamentos teóricos no concordaban con los prácticos. De esta forma, con el montaje de material didáctico movable, se podrá contribuir a que se describan las reales características del funcionamiento de una aeronave en el proceso de enseñanza y aprendizaje.

La falta de un material de instrucción eficiente, moderno y compacto, causa pérdida de tiempo y concentración en las horas clase. Muchas veces el traslado de un espacio a otro provoca cierto malestar en las personas que están trabajando en estas instalaciones, debido a la distracción que generaba un grupo que visita estos lugares para una breve explicación sobre un tema específico.

Finalmente, y recalcando el modelo pedagógico plasmado en la misión del Unidad de Gestión de Tecnologías, un proyecto que desarrolle material didáctico por parte de los estudiantes refuerza la misión institucional, debido a que plasma su aprendizaje en un material concreto y, colabora con la mejora de la experiencia educativa de las futuras generaciones por el desarrollo adecuado de espacios de aprendizaje.

1.3 Justificación

En el campo de la aviación, en donde el primer error puede ser el último, es muy importante que los conocimientos teóricos y prácticos vayan de la mano al momento de realizar el mantenimiento. En la vida real es muy difícil observar los componentes básicos de una aeronave, específicamente de un helicóptero, por lo que, con este trabajo se quiere demostrar cómo es el

funcionamiento de esta aeronave, pero a escala de un helicóptero de aeromodelismo. Para observar la sustentación, cómo permanece estático en el aire y cómo realiza diferentes movimientos (despegue, aterrizaje, entre otros), se puede implementar una cámara de humo. La utilización de esta herramienta permite observar los vórtices que se crean al realizar dichos movimientos, y lo más importante apreciar cómo es la aerodinámica en un helicóptero.

Los principales beneficiarios de esta investigación serán los docentes y estudiantes, que al contar con un material de fácil traslado mejorará significativamente su proceso de enseñanza y aprendizaje. Al relacionarlo con la misión institucional este trabajo quiere demostrar que el estudiante, al poner en práctica los contenidos desarrollados en el aula y talleres, podrá desarrollar un mejor aprendizaje ya que, el docente al utilizar materiales concretos podrá demostrar con mayor precisión los detalles constitutivos de la máquina.

Este proyecto propone mejorar la experiencia del aprendizaje con un material didáctico enfocado a mejorar la enseñanza de los estudiantes y una mejor captación de la información tanto teórica como práctica. Por medio de esta aeronave a escala el proceso de aprendizaje se vuelve interactivo y los docentes y los estudiantes podrán aprovechar mejor el tiempo en la profundización de contenidos, el desarrollo de destrezas y la integración para el trabajo colectivo en los diversos grupos en beneficio de una cultura de inter aprendizaje.

1.4 Objetivos

1.4.1 General

Demostrar las fuerzas que interactúan en los movimientos de despegue, giros y aterrizaje de un helicóptero, mediante la observación del prototipo a escala *Blade 450* en un túnel de viento dinamizado por una cámara de humo, para comprender las contribuciones realizadas por el aeromodelismo moderno.

1.4.2 Específicos

- Desarrollar un marco histórico del desarrollo de los helicópteros.
- Explicar el marco conceptual del funcionamiento de un helicóptero a escala, modelo *Blade 450*.
- Ensamblar un helicóptero de aeromodelismo, *Blade 450*, con la ayuda de los manuales específicos.
- Adaptar una cámara de humo como un túnel de viento, en un espacio cerrado, para determinar las principales características de los movimientos del helicóptero a escala.
- Realizar pruebas de funcionamiento del modelo ensamblado para determinar los aportes que se realizan a la comprensión de las técnicas de aeromodelismo modelismo.

1.5 Alcance

Este trabajo de investigación está dirigido a la implementación de un helicóptero de aeromodelismo, para realizar sus operaciones en la Unidad de Gestión de Tecnologías E.S.P.E. Se preveen grados de influencia en el desarrollo de la enseñanza y aprendizaje de docentes y estudiantes, tanto de quienes pertenecen en la actualidad a la carrera de Mecánica Aeronáutica, como a los futuros interesados de la misma. Con el modelo a escala de un helicóptero, y la adaptación de la cámara de humo, no solo se contribuirá a tener más recursos didácticos concretos para el acto educativo, sino de sobre manera, afectará al proceso de aprendizaje de los estudiantes y su relación con los docentes, de tal manera que el modelo de aprendizaje, mostrada en la misión de la UGT, será seguido y dinamizado por esta experiencia de aprendizaje.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción

El helicóptero es la única aeronave capaz de volar libremente en el aire. Es la más máquina de vuelo más versátil dentro de los sistemas aéreos. Varias instituciones los usan para funciones específicas, tales como: cuerpo de bomberos aéreos, Policía, ambulancias, para evacuación y carga, entre otras actividades más. Estas máquinas aéreas son de gran ayuda ya que, por ejemplo, algunos lugares de difícil acceso han sido alcanzados por los helicópteros cumpliendo con funciones de ayuda a personas.

La historia de los helicópteros tiene un primer antecedente. Este se remonta a las civilizaciones antiguas de China, por los años 400 A.C., un juguete chino funcionaba con un vuelo rotatorio.



Figura 1 Bamboo Dragonfly

Fuente: (El Vuela de la Gran Avutarda, 2016)

Por otro lado, en el año de 1483, aparece el primer diseño de un boceto de helicóptero con un rotor helicoidal, realizado por Leonardo Da Vinci (1452-1519).

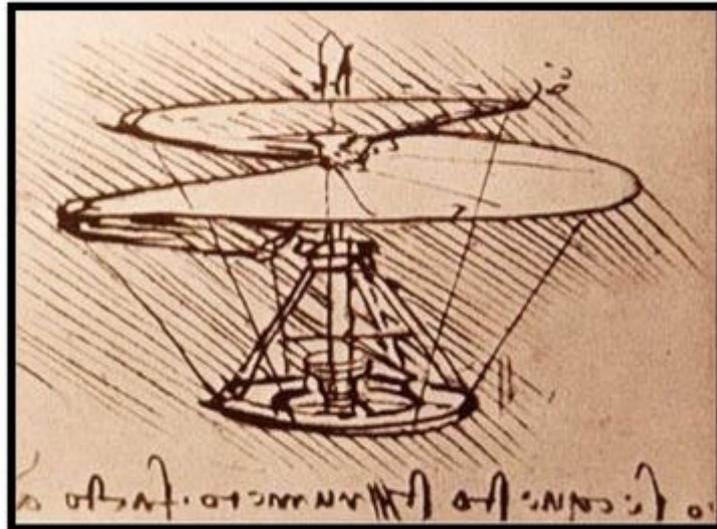


Figura 2 Boceto de Leonardo Da Vinci

Fuente: (El Vuela de la Gran Avutarda, 2016)

En el siglo XIX, varios científicos realizaron esquemas para aeronaves rotatorias. En 1840 Sir George Cayley (1773-1857), abordó los primeros problemas del vuelo rotatorio, profundizó sobre el efecto torque y le dio solución colocando dos rotores uno frente del otro que girando en sentidos contrarios lograron neutralizar dicho efecto. Pero nunca pudo construir su aeronave a escala real porque pensó que un artefacto de esas magnitudes nunca se podría elevar de suelo.

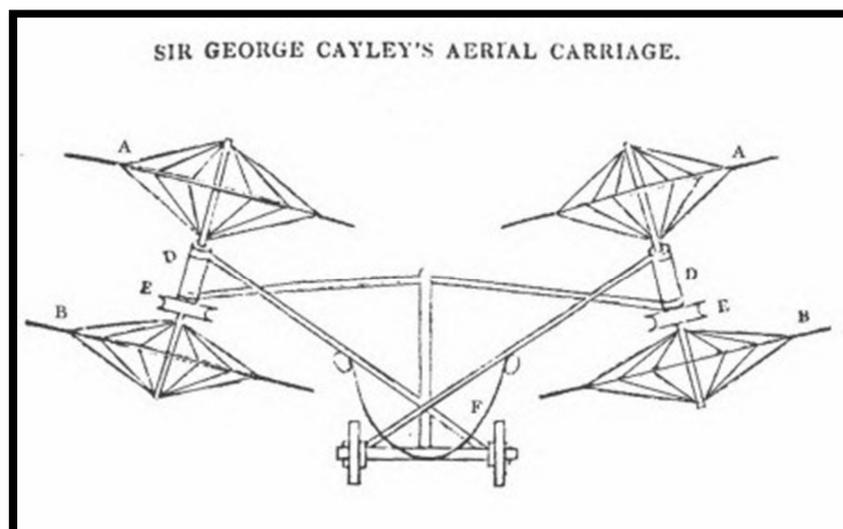


Figura 3 Boceto de Sir George Cayley

Fuente: (Century of Flight, 2012)

En 1860, el ingeniero francés Gustave Ponton d'Amécourt (1825-1888), demostró que el vuelo rotativo era posible. Construyó una aeronave en miniatura que utilizaba un novedoso método que neutralizaba el efecto torque (lo llamó método coaxial de control del par motor), que consistía en dos rotores montados en un eje común.

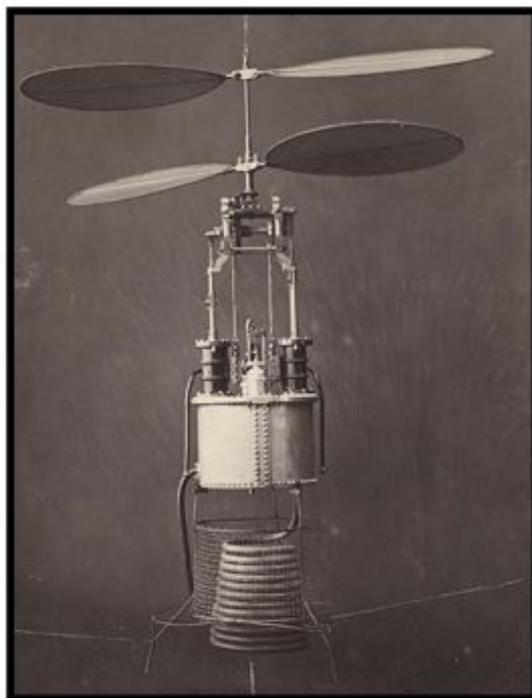


Figura 4 Aeronave en miniatura de Gustave Ponton d'Amécourt

Fuente: (Gaspard-Félix, 2012)

Una vez demostrado que el sistema coaxial funcionaba, el mismo Gustave Ponton d'Amécourt introdujo el término que utilizamos hasta hoy “helicóptero” que proviene de los vocablos griegos: *helix* que significa “hélice” y *pteron* que significa “ala”.

En 1876, el motor de combustión interna de cuatro tiempos fue perfeccionado por el alemán Nicolaus August Otto (1832-1891). Gracias a esto, en el siglo XX, la relación peso-potencia del motor de pistón alcanzó un gran desarrollo, haciendo posible el vuelo mecánico en los aviones.

En 1907, el pionero de la aviación francesa Louis Charles Breguet (1880-1955) se convirtió en la primera persona en elevarse verticalmente del suelo, manteniéndose a una altura aproximada de sesenta centímetros, por un

tiempo de dos minutos. Lamentablemente, no tenía control sobre su aeronave, por lo que estaba anclada al suelo para su seguridad.

En el mismo año el ingeniero Paúl Cornu (1881-1944), hizo historia manteniéndose durante varios minutos a una altura de aproximadamente 30 cm. A diferencia de Breguet, Cornu se elevó verticalmente pero su aeronave no estaba anclada al piso y tenía un escaso control de la misma.

En 1925 el ingeniero español Juan de la Cierva y Codorníu (1895-1936) inventó el autogiro que estaba dotado de un rotor, y cuando se producía el avance el rotor actuaba como un molino de viento debido al aire de impacto, provocando un autogiro.



Figura 5 Autogiro de Juan de la Cierva y Corníu

Fuente: (Diego Dabrio, 2010)

Al persistir el mismo problema que tenían todos los diseñadores de helicópteros, ya que las aeronaves se volcaban antes de elevarse por la rigidez de las hélices, y que no generaban la misma fuerza de elevación equivalente a las revoluciones del motor, que causaba un desequilibrio al momento del despegue se buscar plantear una solución. Ésta última, que propuso de la Cierva, consistía en unir con bisagras las hélices para dotarlas de capacidad para que puedan moverse en cualquier dirección y así encuentren su propio camino en el aire. Ésta solución duró hasta 1930.



Figura 6 Bisagra para las hélices

Fuente: (Academia de Ciencias de la Región de Murcia, 2011)

En 1930 se creó el control cíclico de cabeceo y balanceo, que se basó en un sistema de simetría de elevación, utilizándolo para equilibrar el helicóptero. Este mecanismo en la actualidad es utilizado para el control de la aeronave. Consiste en mover la palanca para que las palas cambien su ángulo de inclinación durante el vuelo; a mayor inclinación éstas se elevan y a menor inclinación descienden, debido a la presión del aire que circula a través de ellas, siendo el efecto global del sistema el cambio en el plano del rotor esto permite el control de la dirección del helicóptero.

Igor Sikorsky (1889-1972), en 1931 diseñó un nuevo helicóptero basado en un solo rotor principal. El 14 de septiembre de 1939 inició los vuelos de prueba de su modelo VS-300, y luego de varios intentos fallidos para contrarrestar el efecto torque, colocó un pequeño rotor en la cola y logró su objetivo. Gracias a esto se equilibra este efecto, y también permite al piloto girar el fuselaje del helicóptero hacia la derecha o a la izquierda en el eje del rotor principal por medio de los pedales.

En la actualidad tenemos un sin número de helicópteros que no solo nos ayudan al transporte, sino también a llegar a lugares inaccesibles para salvar vidas, transportar víveres y carga. Para perfeccionar estas aeronaves primero se trabaja a escala, con pequeños prototipos, que ayuda a perfeccionar tanto la aerodinámica como las partes mecánicas. En estos

prototipos se fabrican todos sus componentes básicos como motores, cabinas, rotores, aspas entre otros. Este fenómeno dio origen al aeromodelismo moderno, que trabaja con los componentes básicos principales de estos helicópteros y aviones.

Hoy en día también contamos con aeronaves no tripuladas que son controladas de forma remota, y en otros casos autónomos, lo que permite llegar a lugares que en condiciones normales las personas no podrían tener acceso para inspecciones de campo.

Las aplicaciones de estos artefactos, y en especial de este trabajo, se basa en los helicópteros de aeromodelismo. Se puede fomentar el interés de alumnos por conocer cómo funciona una aeronave real, explorando sus componentes básicos, aerodinámica, sustentación, así como las fuerzas que intervienen al momento de elevarse y de moverse libremente en el aire. Para los docentes que imparten determinadas materias de especialización, el proyecto proporcionará un helicóptero a escala, donde se pueden observar los componentes básicos de estas aeronaves. De esta forma, se contribuye, en el contexto de la formación técnica y tecnológica, a la dinamización del proceso enseñanza aprendizaje, de manera que éste se vuelva más interactivo e innovador del conocimiento.

2.2 NOCIONES BÁSICAS – FUERZAS AERODINÁMICAS

Luego de revisar la historia del desarrollo del helicóptero, es necesario explicar las principales nociones respecto a las fuerzas aerodinámicas que intervienen en el proceso de sustentación. Así, las aeronaves se clasifican en dos tipos: 1) las de ala fija, como aviones y, 2) las de ala giratoria, que en este caso son los helicópteros. En ambos casos, el vuelo de las aeronaves se logra gracias a los perfiles alares, más conocidos como “alas”. Las alas hacen posible la sustentación, cuando las corrientes de aire pasan a través de ellas. En los helicópteros las alas son las palas, que al girar a una cierta velocidad, generan un empuje vertical dirigido hacia arriba. De esta forma, en la sección por venir nos detendremos en los principales conceptos que intervienen en el proceso de sustentación como lo son: perfiles alares, ángulos de ataque y ángulos de incidencia, densidad, peso, entre otros.



Figura 7 Diagrama de empuje vertical

Fuente: (Academia de Ciencias de la Región de Murcia, 2011)

2.2.1 El proceso de sustentación

Esta fuerza es producida por las palas al momento que empiezan a girar, oponiéndose a la ley de gravedad. Esta fuerza debe ser aplicada en el centro de gravedad o de equilibrio de la aeronave para que se produzca el vuelo.

Dependiendo de la relación que haya entre la fuerza de sustentación y el peso, se cumplen las siguientes condiciones:

- Si el peso es menor que la sustentación, el helicóptero asciende.
- Si el peso es mayor que la sustentación, el helicóptero desciende.
- Si el peso es igual a la sustentación, se produce un vuelo estacionario (el helicóptero permanece estático en el aire).

Continuaremos desarrollando los siguientes conceptos que intervienen como fuerzas en este proceso.

2.2.1.1 Tipos de perfiles

Los perfiles alares, comúnmente denominadas como “alas”, se dividen en dos grupos: 1) simétricos y 2) asimétricos. En los perfiles simétricos el

extrados, que es la parte superior de la pala, y el *intradós*, que es la parte inferior, tienen la misma superficie. En los helicópteros, los perfiles simétricos, son los más utilizados debido a que su centro de presión no varía independientemente de su ángulo de ataque (será profundizado posteriormente), ofreciendo una mejor relación “sustentación-resistencia”, para las diferentes velocidades que existen en la raíz y punta de la pala.

La desventaja de estos perfiles es que producen menor sustentación en comparación con uno asimétrico, pero su fácil construcción, bajo costo y su adaptabilidad a los cambios de velocidad en las palas, los hace más aptos para la adaptarlos en un helicóptero.

Los perfiles asimétricos tienen una pequeña variación en la superficie del *intradós*, la principal ventaja de estos perfiles es su gran capacidad de generar sustentación y mejores prestaciones cuando la aeronave entra en *stall* (proceso de disminución de la fuerza de sustentación).

Para graficar lo mencionado, a continuación se presenta una figura de un perfil simétrico para detallar sus principales partes.

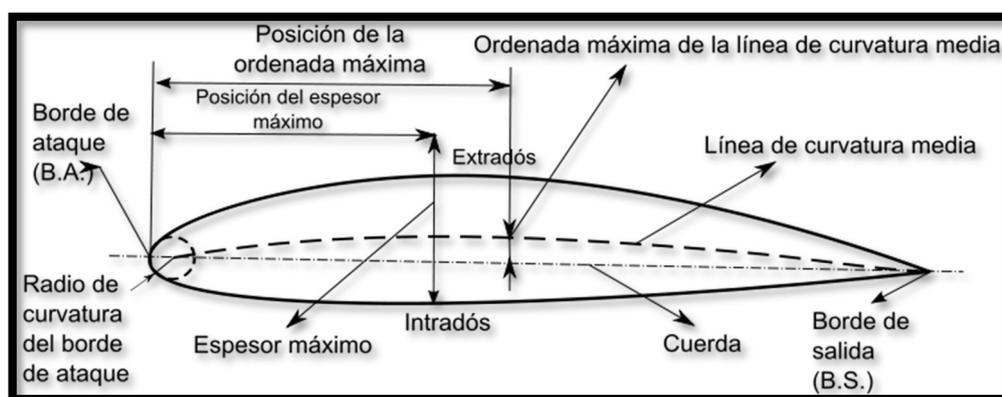


Figura 8 Partes de un perfil.

Fuente: (Perfil_alar-1.jpg: Kadellardervative work, 2002)

De esta forma, las principales secciones de un perfil son:

- **Cuerda:** es la línea recta que une al borde de ataque, con el borde de salida.

- Línea de curvatura media: es una línea equidistante entre el *extrados* e *intrados*. Si esta curva se encuentra sobre la cuerda, tiene una curvatura positiva. Por otro lado, si está por debajo de la cuerda, tiene una curvatura negativa. Finalmente, si está simultáneamente arriba y abajo, se llama doble curvatura.
- Ordenada máxima: es la distancia máxima que existe entre la línea de curvatura media y la cuerda. Su valor se da en porcentaje de la cuerda.
- Espesor máximo y posición: se miden en porcentajes de la cuerda y su valor oscila entre: 3% y 18% de acuerdo en referencia al grosor de los perfiles.
- Radio de curvatura del borde de ataque: es un círculo tangente al *extrados* y el *intrados*, con su centro situado en la línea de curvatura media. Define la forma del borde de ataque.

2.2.1.2 Ángulo de ataque y ángulo de incidencia

El ángulo de ataque es la abertura formada entre la cuerda y la dirección de la corriente libre del aire. De esta forma, determinar el ángulo de ataque, permitiría calcular el flujo de aire relativo que ataca a un perfil. Entre mayor ángulo (mayor abertura) circula más aire y por lo tanto, se produce mayor sustentación, situación inversamente proporcional si se tuviese un menor ángulo de ataque.

El ángulo de ataque no solamente puede variar por acción del piloto, sino también de manera automática dependiendo del diseño del rotor, y de otros factores externos como turbulencias y la flexión de la pala.

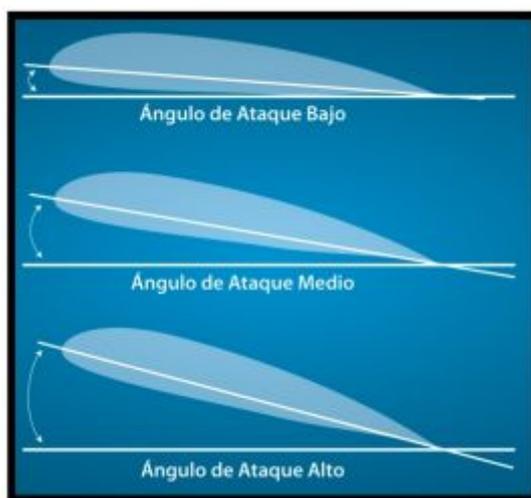


Figura 9 Ángulos de ataque

Fuente: (Flow concept, 2014)

El ángulo de incidencia es la abertura formada entre la línea de cuerda y el plano de rotación del rotor. Este ángulo es mecánico y no aerodinámico, como el ángulo de ataque. Es por esta razón que no se debe confundir estos dos ángulos, son completamente diferentes, y si no existe un flujo inducido de aire, estos dos ángulos serán los mismos.

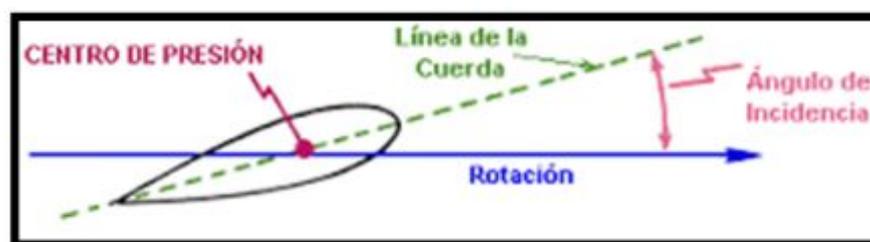


Figura 10 Angulo de incidencia

Fuente: (Abpscometa, 2007)

2.2.1.3 Densidad de la masa de aire

La densidad del aire es la cantidad de “masa de aire” por unidad de volumen (masa/volumen). Esta disminuye de acuerdo a la altura, es decir a mayor altura, menor masa de aire por unidad de volumen (también se aplica una relación inversamente proporcional). La disminución de la densidad afecta directamente al rendimiento del motor, razón por la cual cuando una aeronave sale desde la Sierra hasta la Costa, no puede salir al 100% de su

capacidad, porque a mayor altura se pierde potencia del motor y solamente se puede ocupar el 75% de su capacidad. Cuando el vuelo se lo realiza desde la Costa hasta la Sierra, el helicóptero puede salir al 100% de su capacidad y cuando alcanza una determinada altura y comienza a haber pérdida del rendimiento del motor, ésta se compensa con la disminución del combustible durante el vuelo.

2.2.1.4 Velocidad del viento relativo

La velocidad del viento relativo es la que más afecta a la sustentación. Mientras más alta sea la velocidad, mayor será la sustentación de la aeronave. Esta fuerza es directamente proporcional a la velocidad elevada al cuadrado (v^2) de acuerdo con el teorema de Bernoulli².

2.2.2 Peso del helicóptero

La fuerza que la Tierra ejerce sobre todos los cuerpos, llamada gravedad, es una fuerza natural. La fuerza artificial que contrarresta dicha fuerza es la sustentación. La variación de esta fuerza (sustentación) permite el ascenso o descenso de la aeronave. Cuando las dos fuerzas están en equilibrio, se produce el vuelo estacionario, es decir cuando un helicóptero permanece inmóvil en el aire.

2.2.3 Tracción o empuje

Para romper la inercia de una aeronave en reposo, se debe vencer la resistencia del aire, y esto se logra con la fuerza de empuje. Esta fuerza impulsa al helicóptero sobre su eje longitudinal, para trasladarlo a través del aire. Así mismo, la fuerza de tracción no solo depende de la potencia del motor, sino también la forma y tamaño de las aspas, densidad del aire e incluso del octanaje del combustible.

² El teorema de Bernoulli consiste en: “todo fluido ideal (sin viscosidad ni rozamiento), incomprensible, en régimen laminar de circulación por un conducto cerrado, la energía que posee el fluido permanece constante a lo largo de todo su recorrido”. Se puede profundizar en el tema en el siguiente *link*: <https://goo.gl/0tzuTZ>

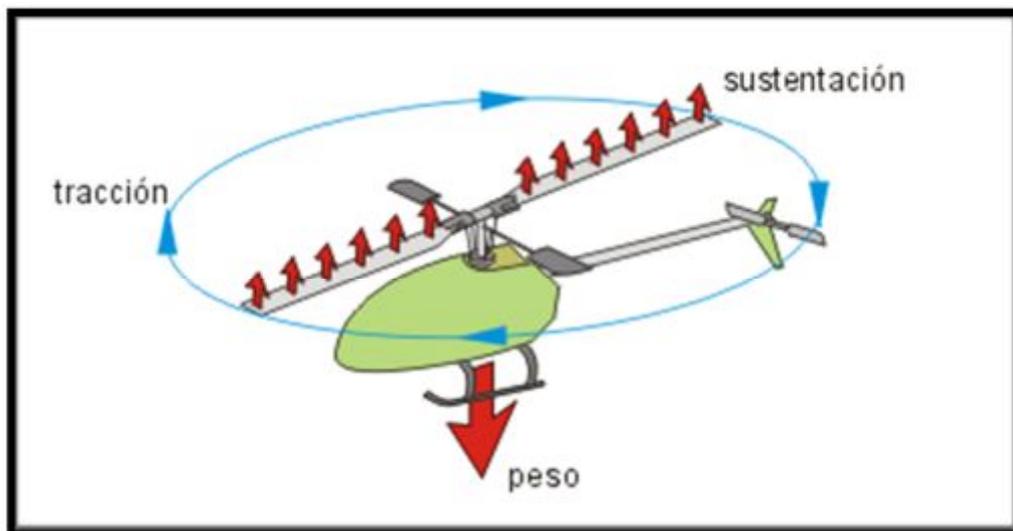


Figura 11 Fuerzas de tracción, sustentación y peso

Fuente: (Newtoneducativa, 2005)

2.2.4 Resistencia

Es una fuerza que está en sentido opuesto a la fuerza de tracción y de la trayectoria. La resistencia se produce por la densidad del aire y el fricción entre la aeronave. Esta fricción depende directamente de la forma y rugosidad de la superficie, y de su aerodinámica, es decir de la forma que el aire circula a través del helicóptero. Un desequilibrio entre la tracción y la resistencia puede provocar aceleraciones o desaceleraciones, y en el peor de los casos la pérdida de la sustentación.

2.2.5 Vuelo estacionario

El vuelo estacionario es una condición en la cual, la fuerza de sustentación generada por el rotor principal y el peso de la aeronave se encuentran totalmente en equilibrio. El helicóptero se suspende en el aire durante un intervalo de tiempo determinado, permaneciendo el ángulo de ataque de las palas completamente horizontal, asumiendo que no hay viento relativo.

Uno de los usos dados a partir del desarrollo del vuelo estacionario es por ejemplo el rescate a personas en lugares lejanos o de accidentes.



Figura 12 Vuelo estacionario en rescate de victimas

Fuente: (Luatlon, 2017)

2.2.6 Vuelo traslacional

Una vez que el helicóptero comienza a elevarse, rompiendo el equilibrio de las fuerzas, el piloto comienza a mover el colectivo (palanca de control 1) de su mano izquierda esto permite subir y bajar la aeronave, luego con el cíclico (palanca de control 2) puede hacer movimientos hacia la izquierda, derecha, adelante y atrás. Con el cíclico va variando la fuerza resultante de sustentación lo que produce el movimiento traslacional.

2.2.7 Fuerza aerodinámica de sustentación

La fuerza aerodinámica es la resultante entre la sustentación y la resistencia al avance. El punto donde está fuerza se divide y se llama punto de impacto. Los factores que influyen en la sustentación son la diferencia de presiones entre el extrados e intrados, debido a la velocidad del viento, el ángulo de ataque y sobre todo la densidad del aire. Con el aumento de sustentación se genera también un aumento de la resistencia, razón por la cual el diseño de un perfil es muy importante para las diferentes velocidades en las cuales se va a desempeñar.

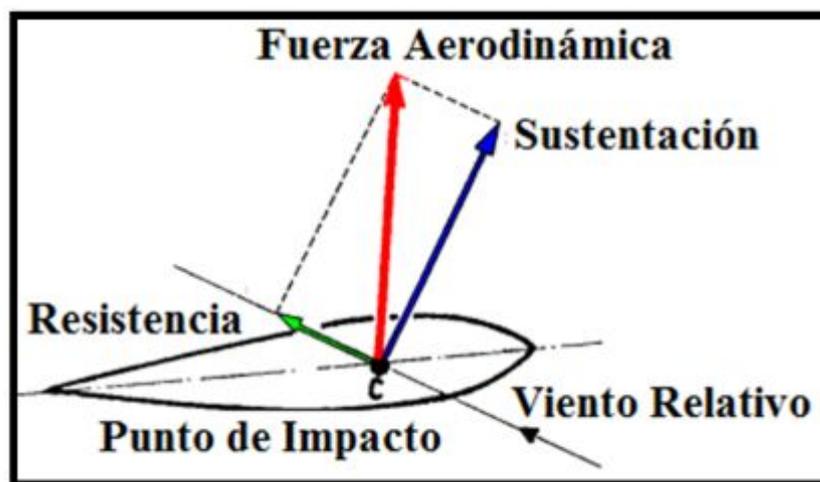


Figura 13 Descomposición de la Fuerza Aerodinámica

Fuente: (Takeoffbriefing, 2012)

Una fuerza característica de los helicópteros es el efecto-suelo, que es un incremento en la presión del aire sobre el suelo, cuando la aeronave se encuentra a una distancia del suelo igual a una envergadura de su rotor principal, este efecto produce un aumento significativo en el rendimiento del motor y de todos sus componentes.

2.2.8 Autorrotación

Más que una fuerza, la autorrotación se define como una maniobra de emergencia. Cuando hay una falla en el motor o una falla de potencia por diferentes factores, cuando el helicóptero comienza a descender luego de una falla, el flujo de aire sube a través del disco rotor, cambiando la dirección y sentido del flujo, disminuyendo el ángulo de ataque por medio del colectivo, empujando el cíclico hacia delante y, debido a la inercia con que se estaban moviendo las palas del rotor, éste permanece en movimiento. Esta circulación de flujo de aire crea una fuerza autorrotativa, y otra que tiende a disminuir la rotación, llamada anti-autorrotativa, que al tenerlas en equilibrio permiten un aterrizaje controlado. Si antes de llegar al suelo, el piloto vuelve a halar el colectivo para crear un colchón de aire, se puede disminuir el impacto contra el suelo.

2.3 TIPOS DE HELICÓPTEROS A RADIO CONTROL

Una vez que se ha explicado las principales fuerzas que producen el proceso de sustentación, es necesario profundizar sobre el objeto del presente trabajo de experimentación. Por tal motivo, es necesario introducirnos dentro de las características de los helicópteros a escala, llamados también, aeronaves a radio control. Se revisarán en primer lugar los tipos de helicópteros a escala, para posteriormente, detallar sus principales componentes.

2.3.1 Helicópteros de dos canales

Los helicópteros que poseen dos canales de control son los más recomendados para las personas que deseen iniciar a operar una maquinaria de hélices. Los principiantes en esta tarea pueden manejar al helicóptero a partir de movimientos básicos: arriba, abajo, izquierda y derecha. Estas aeronaves presentan como principal desventaja el uso que se los puede dar, ya únicamente, se los puede operar en espacios cerrados debido a que la brisa más pequeña puede derribar la aeronave.



Figura 14 Helicóptero RC de dos canales

Fuente: (nuvolashop, 2012)

2.3.2 Helicópteros de tres canales

A diferencia de los anteriores, en tercer canal de control proporciona la capacidad de dar a la aeronave mayor capacidad de movimiento: hacia adelante y hacia atrás. Este tipo de helicóptero es útil para aprender a tener un mejor control del mismo, pero aún así se debe realizar las pruebas en un lugar cerrado.

2.3.3 Helicópteros de cuatro canales

Estos helicópteros tienen una mayor complejidad mecánica, y pueden desplazarse en cualquier dirección a diferencia de los anteriores. Éstos incorporan dos servomotores que controlan el plato cíclico, para que la aeronave pueda inclinarse en cualquier sentido y siga esta trayectoria. Son conocidos también como helicópteros de paso fijo.

2.3.4 Helicópteros de seis canales

Tienen la complejidad mecánica similar a la de un helicóptero real. Tienen un sistema de paso colectivo, que hace posible controlar la altura de vuelo, ya que permite controlar el ángulo de paso de las aspas en el rotor principal. Estos helicópteros son profesionales y se puede realizar vuelos en tres dimensiones si se establece un ángulo de paso negativo.



Figura 15 Helicóptero Blade 450 profesional

Fuente: (Horizonhobby, 2012)

2.3.5 Helicópteros coaxiales

Tienen dos pares de hélices, una se ubica sobre la otra. Éstas giran en el mismo eje, pero en sentidos opuestos. Esto compensa la ausencia del rotor de la cola, ya que el par de palas que giran en sentidos opuestos, rompen el efecto torque. Tienen mayor estabilidad y su estructura mecánica es básica.



Figura 16 Helicóptero coaxial

Fuente: (Avionrc, 2012)

2.4 COMPONENTES BÁSICOS DE UN HELICÓPTERO DE RADIO CONTROL

Luego de profundizar sobre los tipos de helicópteros a radio control, es necesario detallar los principales componentes. Es este sentido, a continuación desarrollaremos los principales conceptos que intervienen en el proceso de sustentación de una máquina de este tipo.

2.4.1 Rotor principal

En el rotor rotativa de helicóptero, aquí se encuentran y todos los mecanismos que producen la sustentación y se detallan a continuación.

2.4.1.1 Aspas del rotor principal

Las aspas del rotor tienen un perfil similar a las alas de un avión, pero a diferencia de que, en este último, las aspas son biconvexas. Esto debido a que, si fueran planas convexas, al momento que comienzan a girar el rotor, se elevaría sin control de altura. Las aspas de un helicóptero son las

encargadas de generar la sustentación aerodinámica: cuando el aire circula por el extrados y el intrados, la diferencia de presión hace que la aeronave se eleve.



Figura 17 Aspas del rotor principal

2.4.1.2 Plato cíclico

Es donde se sujetan las aspas por medio de pernos. Esta estructura permite la navegación del helicóptero en el aire. Este mecanismo cambia los ángulos de paso de las aspas, para mover la aeronave en todas las direcciones.



Figura 18 Plato cíclico

2.4.1.3 Servomotores del plato cíclico

Son los componentes más importantes del helicóptero para controlar su navegación en el aire. Van conectados, al plato cíclico, tres servomotores y cuentan con la capacidad de colocarse en un ángulo determinado, para controlar la posición del plato cíclico, y por medio de bieletas de mando se unen a éste..

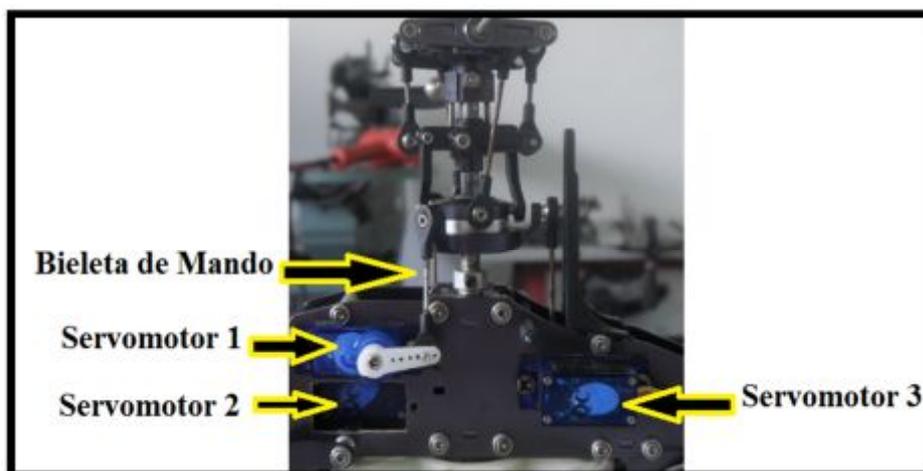


Figura 19 Servomotores y Bieletas de Mando

2.4.2 Rotor de cola

El rotor de cola es un rotor similar al principal, pero de un menor tamaño cuyas funciones principales son contrarrestar el efecto torque y permitir al helicóptero girar sobre el eje del rotor principal hacia la derecha e izquierda.

2.4.2.1 Aspas del rotor de cola

La función de estas aspas es generar sustentación horizontal. Son más pequeñas que las aspas del rotor principal.



Figura 20 Aspas del Rotor de cola

2.4.2.2 Funcionamiento del rotor de cola

Para su funcionamiento está acoplado con un servomotor totalmente independiente de los tres mecanismos explicados ya anteriormente (servomotores del plato cíclico). El rotor de cola permite cambiar el ángulo de paso, para que el helicóptero pueda rotar sobre el eje del rotor principal, y así, contrarrestar el efecto torque.

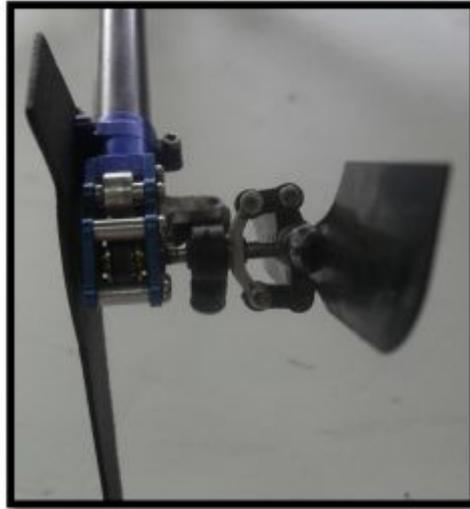


Figura 21 Rotor de cola

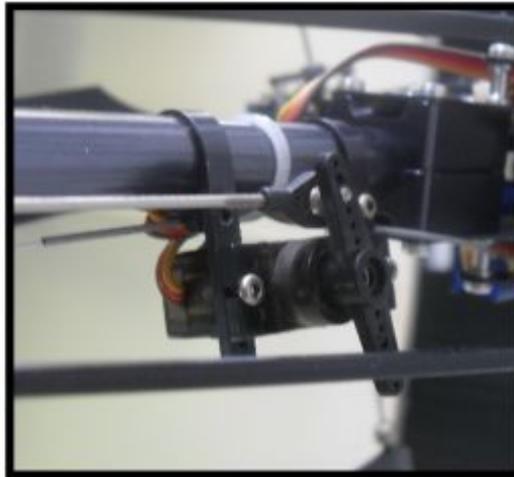


Figura 22 Servomotor del Rotor de Cola

2.4.2.3 Motor Brushless

Son motores que no poseen escobillas, razón por la cual mejoran su rendimiento, pero a cambio de un gran consumo de energía. Casi no necesitan mantenimiento, y, a relación de los motores a combustión, tienen un precio más bajo y pesan menos.

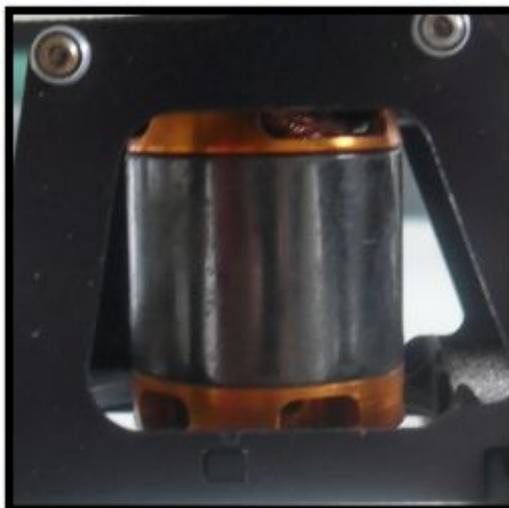


Figura 23 Motor Brushless

2.4.2.4 Caja de reducción

Al igual que los helicópteros reales, no se utilizan todas las revoluciones proporcionadas por el motor para realizar el proceso de sustentación. Es por esta razón que se utiliza un engranaje de reducción, ya que 1) para el rotor principal se necesita una menor cantidad de revoluciones, y 2) para el rotor de cola una mayor cantidad. Es así que en estos dos mecanismos se utilizan engranajes como sistema de reducción.

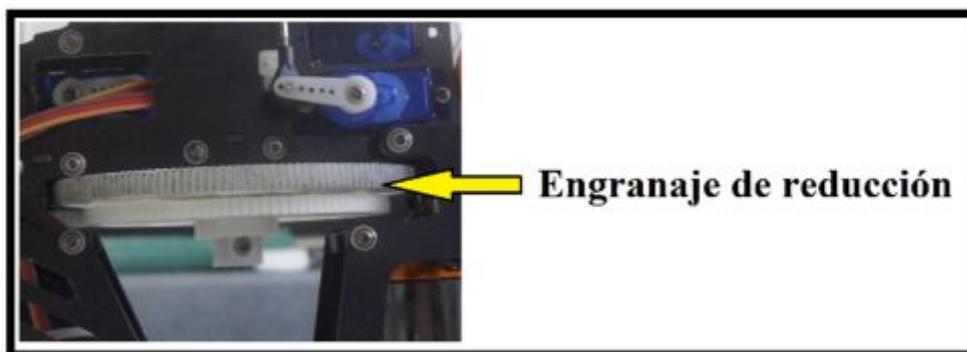


Figura 24 Engranaje de Reducción

La transmisión de potencia hacia el rotor de cola se hace mediante un pequeño engranaje, colocado en la estructura de la aeronave, y por medio de una banda dentada llega hasta otros engranajes que mueven el rotor de cola.



Figura 25 Banda de Transmisión y Rotor de cola

Fuente: (Futurhobby repuestos)

2.4.2.5 Chasis estructural

El chasis es la base estructural de todos los componentes mecánicos del helicóptero. En general, estas estructuras son fabricadas de diferentes materiales como: aluminio, plástico y fibra de carbono. Cada uno de estos materiales tienen sus ventajas y desventajas, pero lo más importante a considerarse es el peso y su resistencia.

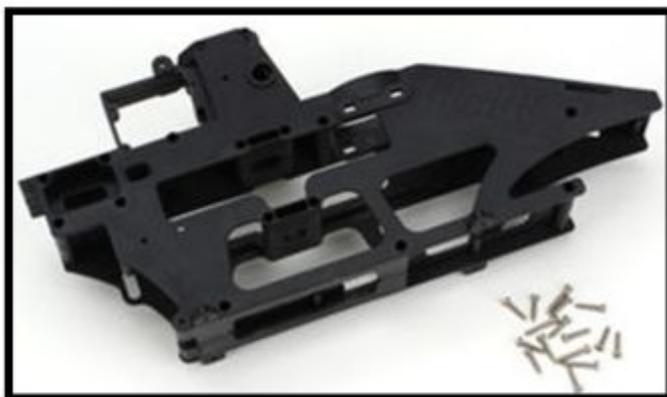


Figura 26 Chasis del Helicóptero

Fuente: (Modellbau Grimm, 2013)

2.5 COMPONENTES DEL SISTEMA DE RADIO CONTROL

El sistema de radio control es un control remoto que permite operar todos los movimientos del helicóptero a distancia sin la utilización de cables.

2.5.1 Receptor RG631B

Es un sistema de transmisión de banda ancha con una respuesta casi inmediata. Su ventaja principal es que selecciona automáticamente las señales de control que deben ser transmitidas, y al mismo tiempo entrega los datos como un cuadro de señales completo. Además, asegura que no haya retraso al momento de comandar los servomotores del plato cíclico, así como también del rotor de cola. Su peso es mínimo, ya que es fabricado de policarbonato ligero, posee una antena remota y puede trabajar dentro de un rango de 4,8 a 8,5 v (voltios).



Figura 27 Receptor GR631B

2.5.2 Dispositivo de fallo de señal A01L

A diferencia del anterior, este pequeño dispositivo entra en acción cuando hay una falla en el receptor. Cumple las mismas funciones que el RG631B, y puede hacer hasta un aterrizaje de emergencia, dependiendo de la configuración del mismo. Puede también contabilizar la altitud, las R.P.M. (revoluciones por minuto) del motor, así como su temperatura en el caso de un helicóptero de combustión, entre otros dependiendo de su configuración.

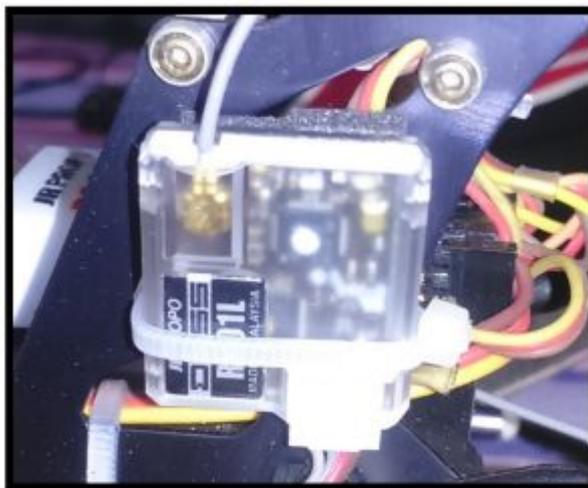


Figura 28 Dispositivo de Fallo de Señal RA01L

2.5.3 Control Remoto

Es el elemento que permite la maniobrabilidad del helicóptero. Consta de dos palancas. En la figura que se presenta a continuación puede divisarse las mismas. La del lado izquierdo sirve para la aceleración y el control de la altitud, y la del lado derecho para los giros en todas las direcciones.



Figura 29 Control Remoto

2.6 CÁMARA DE HUMO AB-900

La cámara de humo proporciona un aire denso producto de la evaporación de agua y glicerol. El humo vaporizado (no tóxico) produce un efecto similar a la niebla. Este dispositivo puede ser utilizado como un elemento central en la simulación de un túnel de viento.



Figura 30 Cámara de Humo Italy Audio AB-900

2.7 GYRO

Es un dispositivo que corrige el cambio de dirección producida por una ráfaga repentina de viento. El *gyro* proporciona más fuerza al motor para que el helicóptero no se descontrola y caiga. Además, va conectado al servomotor correspondiente al rotor de cola.



Figura 31 Gyro

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.1 PRELIMINARES

Una vez comprendido el marco conceptual del funcionamiento del helicóptero, se procederá a la explicación del “proceso de sustentación de un helicóptero, simulada en un ambiente de túnel de viento”, aplicado al modelo en escala *Blade* 450. Este proceso se desarrolló en tres momentos. El primero refiere al ensamblaje de la aeronave, seguido de la respectiva calibración para el correcto funcionamiento del mismo. Se finaliza con la experimentación del vuelo dentro de un ambiente simulado de un túnel de viento con la finalidad de comprender e identificar las fuerzas que articulan el proceso de sustentación.

En este sentido, el manual del usuario del modelo de helicóptero³ *Blade* 450 (ver anexo A), y el equipamiento específico de la aeronave (caja de herramientas), constituyeron las principales instrumentos que mediaron todo el proceso. Así mismo, la asesoría técnica y especializada de un técnico de aviación⁴ orientó el desarrollo del proceso. De esta forma, se irá describiendo el trabajo realizado en cada momento (paso a paso) del proceso en cuestión.

3.2 ENSAMBLAJE DEL HELICÓPTERO *BLADE* 450 RC

El ensamblaje consiste en unir todas las piezas del helicóptero al chasis, de una manera ordenada y siguiendo paso a paso el manual específico.

3.2.1 Acoplamiento del motor y servomotores al chasis del helicóptero

- Se desmontó el lateral izquierdo del chasis para colocar los tres servomotores del rotor principal: uno al lado derecho y dos al lado izquierdo. Se aseguró cada servomotor con abrazaderas plásticas para

³ En el proceso de ensamblaje y calibración, los manuales de los helicópteros “T-rex 450 pro” y “T-rex 450 ES” (las portadas de los manuales se las puede ver en el anexo B) constituyeron herramientas complementarias. En el primer caso, ampliaron la visión respecto al ensamblaje del chasis, mientras que el segundo, proporcionó elementos para calibrar tanto las aspas, como el plato cíclico.

⁴ Señor Eduardo Carrillo, Técnico de Aviación.

sujetar sus respectivos cables. En este sentido, se debe tener en cuenta que no debe haber ningún roce con las piezas móviles del plato cíclico (bioletas, aspas y caja de engranaje). **(Anexo A)**

- Una vez realizado el paso anterior, se instala el motor *brushless*, y se lo sujeta firmemente con los hexagoles. Se colocan los soportes de la cabina, y finalmente se cierra el chasis uniendo el lateral izquierdo del chasis que fue desmontado al inicio del proceso. **(Anexo A)**

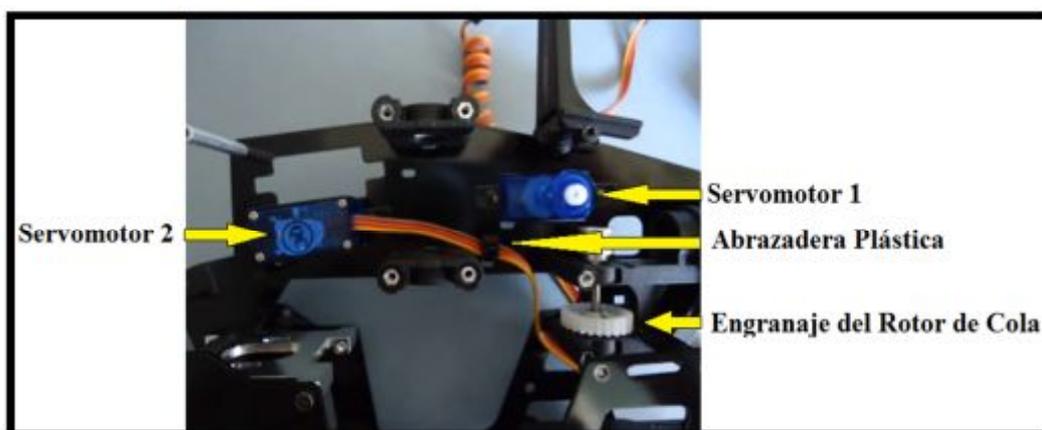


Figura 32 Acoplamiento de los servomotores al chasis

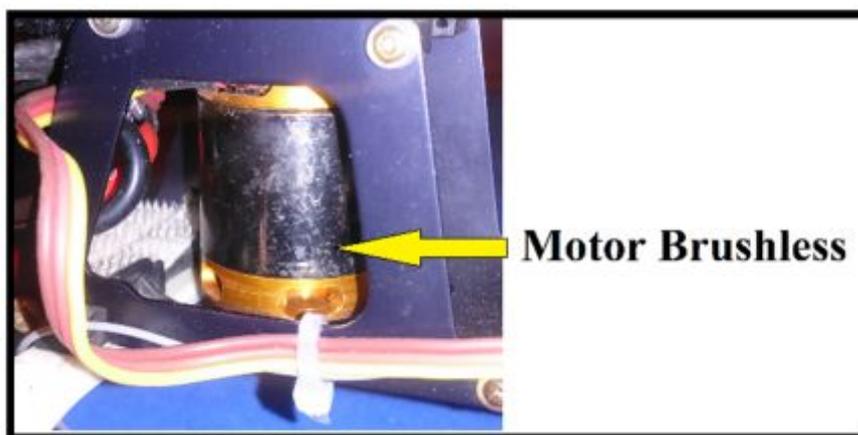


Figura 33 Instalación de motor *brushless* al chasis

3.2.2 Ensamblaje del rotor de cola

- Se colocaron los soportes del servomotor de cola, y las guías de la bieleta hacia el rotor de cola. **(Anexo A)**

- Luego, se colocó la banda de tracción a través del tubo de la cola. Se acopló el rotor de cola con mucho cuidado, y se atornilló el alerón horizontal. **(Anexo A)**
- Se instaló, y se unió la bieleta del rotor de cola con los soportes del tubo del motor. **(Anexo A)**
- Se juntó al chasis, el rotor de cola ensamblado, y se hizo pasar la banda de tracción por el engranaje del chasis. **(Anexo A)**
- Se incorporó el último servomotor en los soportes, teniendo muy en cuenta su posición para que se pueda unir con la bieleta. **(Anexo A)**

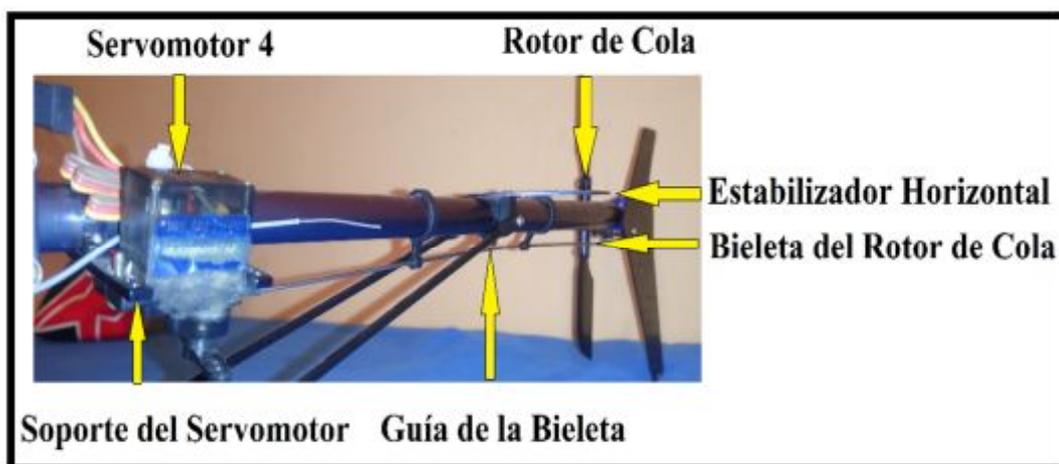


Figura 34 Rotor de cola y sus partes.

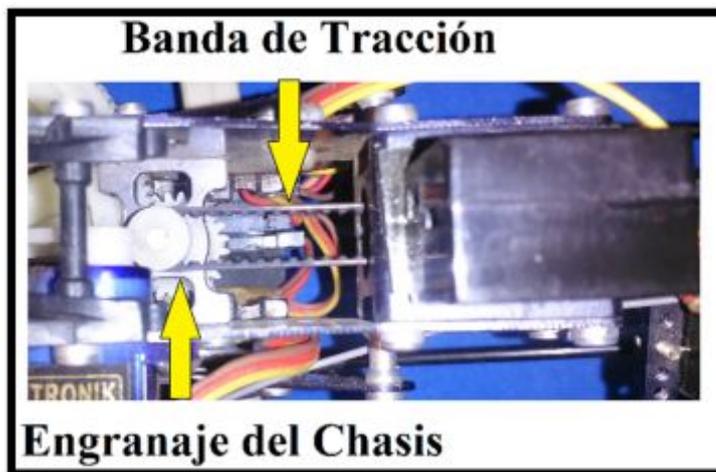


Figura 35 Banda de tracción y engranaje del chasis

3.2.3 Unión del rotor principal al chasis

- Con mucho cuidado se colocó el rotor principal dentro del chasis. Se lo unió al engranaje de reducción, para luego ajustar los pernos con los hexagonales. **(Anexo A)**
- Luego se instaló el *flybar*. Se unió las bieletas del plato cíclico con todos los servomotores del chasis y se ajustó los pernos. **(Anexo A)**
- Se colocó el distribuidor de corriente en el espacio por debajo de la batería, donde hay mayor flujo de aire que proviene del rotor principal para su refrigeración. Al mismo tiempo se debe prestar atención para ubicarlo de manera que este distribuidos esté lo más distante del posible receptor, de no ser así, posibles ampulosos de corriente parásitas podrían generarse. **(Anexo A)**
- Se instaló el *gyro* en la parte posterior del rotor principal para protegerlo de posibles golpes. **(Anexo B)**

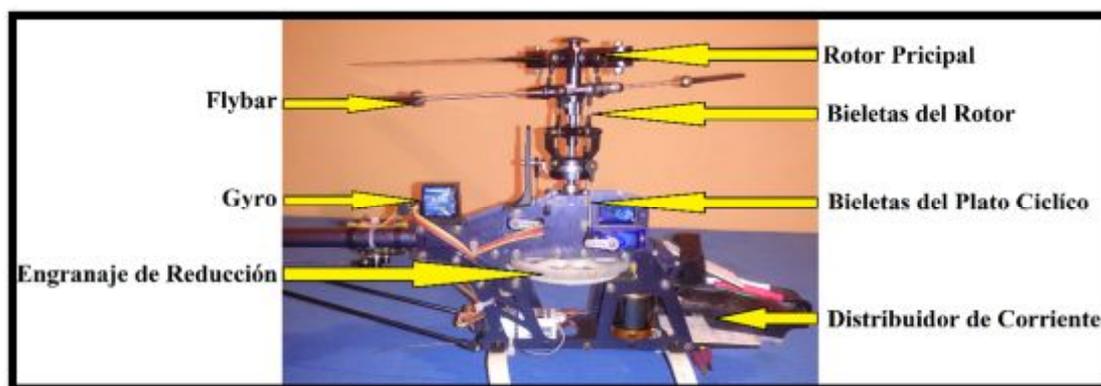


Figura 36 Componentes principales del chasis del helicóptero

3.2.4 Instalación de los Receptores

- Se colocó el receptor RG631B en la cavidad inferior del chasis debajo del engranaje de reducción a una distancia prudente del distribuidor de corriente. **(Anexo C)**

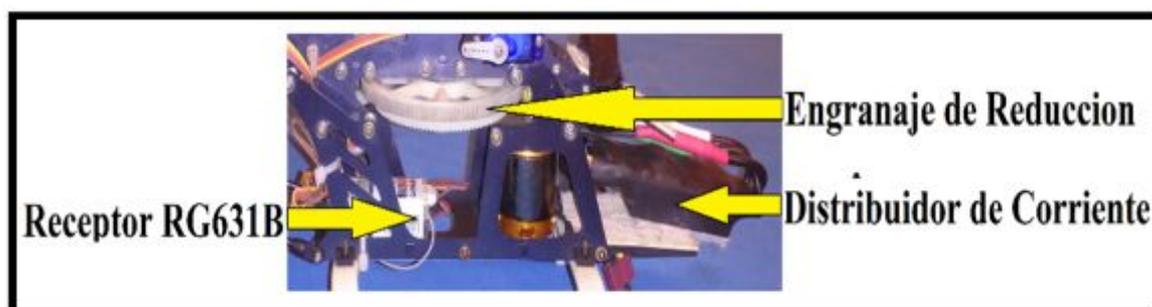


Figura 37 Ubicación del receptor RG631B

- Se instaló el dispositivo RA01L en la parte izquierda del chasis. Por último, se conectaron todos los cables de servomotores, motor, *gyro*, batería y distribuidor de corriente. **(Anexo C)**

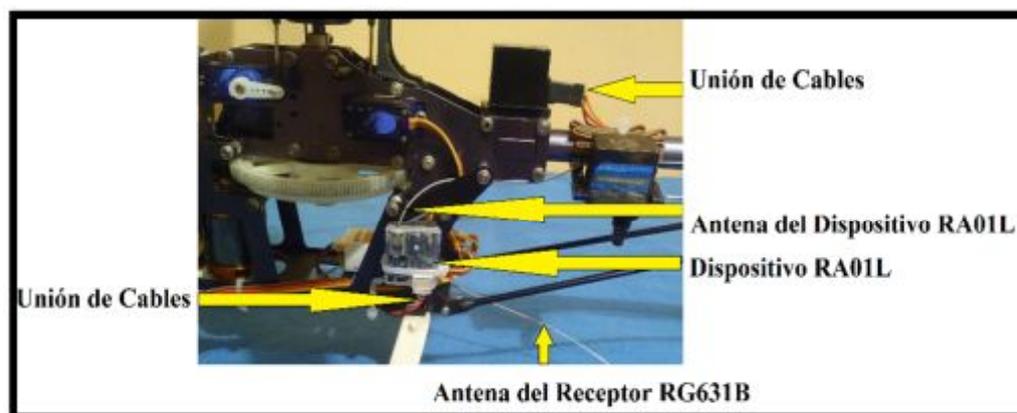


Figura 38 Ubicación de los dispositivos

3.3 CALIBRACIÓN DEL PLATO CÍCLICO CON EL SISTEMA DE RADIO CONTROL

En este paso se rectificó todos los movimientos del plato cíclico con los servomotores por medio del radio control para logra un vuelo optimo del helicóptero *Blade 450*.

3.3.1 Calibración del Cíclico

- Una vez que se unieron todos los cables, se encendió el control remoto. En el menú del mismo, se colocó en *mix monitor*, y en la opción *swash type* se escogió la opción de 120°, que es la recomendable para todos los helicópteros versión 450, debido a que el la conservación de este ángulo permite mayor estabilidad de la aeronave. **(Anexo A)**



Figura 39 Configuración para helicópteros RC Versión 450

- Se encendió el control remoto. Se comprobó que los tres servomotores del chasis, al momento de subir el acelerador al 100%, se encuentran en la parte superior. En caso de que no haya simetría, colocamos el acelerador al 50%, y tratamos de colocar las patas de los servomotores lo más horizontalmente posible. Para este procedimiento todos los instrumentos deben estar desconectados. **(Anexo A)**

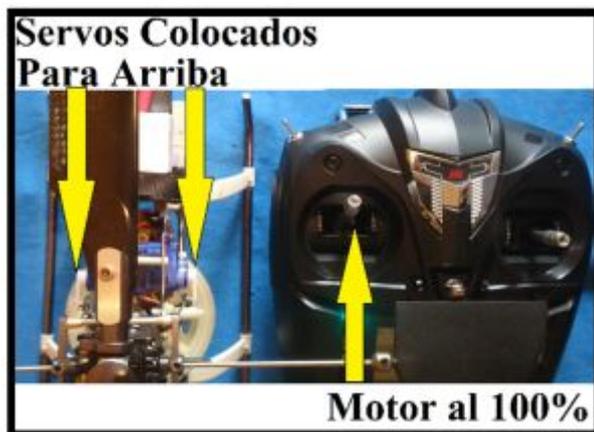


Figura 40 Comprobación del Funcionamiento de los Servomotores

- Para la calibración del plato cíclico, se desciende completamente el servomotor de elevación. En la guía del antigiro se realiza una pequeña marca, se procede de la misma forma en la parte inferior. Se hace otra marca en la parte de la mitad del recorrido del cíclico. Si al momento de acelerar al 50%, la barra del cíclico llega hasta donde colocamos la marca, está bien calibrado; y si su recorrido no está bien configurado, procedemos a enroscar o desenroscar las bieletas del plato cíclico.



Figura 41 Marcas previas antes de la calibración del plato cíclico



Figura 42 Verificación sin aceleración del plato cíclico



Figura 43 Verificación al 50% de aceleración del plato cíclico

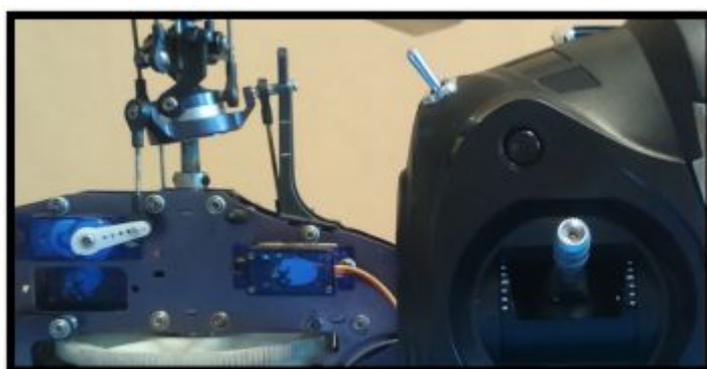


Figura 44 Verificación al 100% de aceleración del plato cíclico

- Para el control de giros hacia la derecha e izquierda, se comprobó que la palanca derecha del control remoto, al momento de girar hacia la

izquierda el plato cíclico, se inclina en esa misma dirección; es decir, el servomotor de la izquierda baja y el de la derecha sube. **(Anexo A)**



Figura 45 Verificación para el giro hacia la izquierda



Figura 46 Verificación para Giro hacia la Derecha

- Para los movimientos hacia adelante y atrás, se verificó que al mover la palanca del lado derecho del control remoto, el plato cíclico se inclina en la misma dirección, bajando el servomotor de la parte posterior del chasis. El *flybar* baja en el caso del movimiento hacia adelante, y sube para el movimiento hacia atrás. **(Anexo A)**



Figura 47 Comprobación del movimiento hacia adelante



Figura 48 Comprobación del movimiento hacia atrás

- Si en el menú del *swash mix* se reflejara algún porcentaje en negativo, la calibración estaría incorrecta. Vale la pena anotar que los porcentajes del menú indican el movimiento del servomotor, mismo que tiene la funcionalidad de sincronizar el movimiento de las aspas. En este sentido, se calibró el helicóptero de manera correcta, asegurando que los porcentajes del menú se reflejen en positivo. **(Anexo A)**



Figura 49 Configuración del Control Remoto (SWASH MIX)

- Para la calibración del ángulo de incidencia, del rotor principal, se utilizó un calibrador de ángulo de paso en relación a la ubicación horizontal del *flybar*. Esta calibración se la puede realizar con “niveles de gotas”. Con la ayuda del calibrador de ángulo de paso, se colocó a éste en -2° . Posterior a esto, se ubicó el nivel en la pala del rotor, y con el control remoto se verificó que al poner el acelerador al mínimo, el calibrador se mantenga en -2° . Finalmente, tomando como referencia el *flybar*, y nuevamente con la ayuda del nivel de gotas, se verificó que el calibrador esté completamente horizontal. En caso de que no esté completamente horizontal, se puede enroscar o desenroscar las bieletas de las hélices. **(Anexo A)**

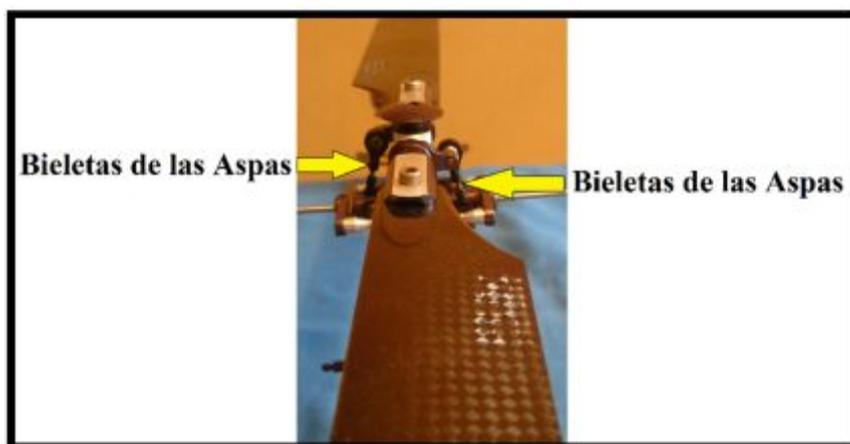


Figura 50 Ajuste de las bieletas de las aspas

- Para calibrar el plato cíclico, en la primera prueba de vuelo se observó hacia dónde se inclinaba el helicóptero, sin mover la palanca derecha del control remoto. El criterio que se siguió fue: si hay inclinación hacia la derecha, se debe subir en media vuelta la bieleta de la derecha, y bajar en media vuelta la bieleta de la izquierda; si se produce cabeceo hacia adelante se sube una vuelta las dos bieletas del frente y se baja en una vuelta la bieleta de la parte posterior del cíclico. Este procedimiento se lo puede realizar también de manera inversa, dependiendo del comportamiento de la aeronave al momento del despegue.

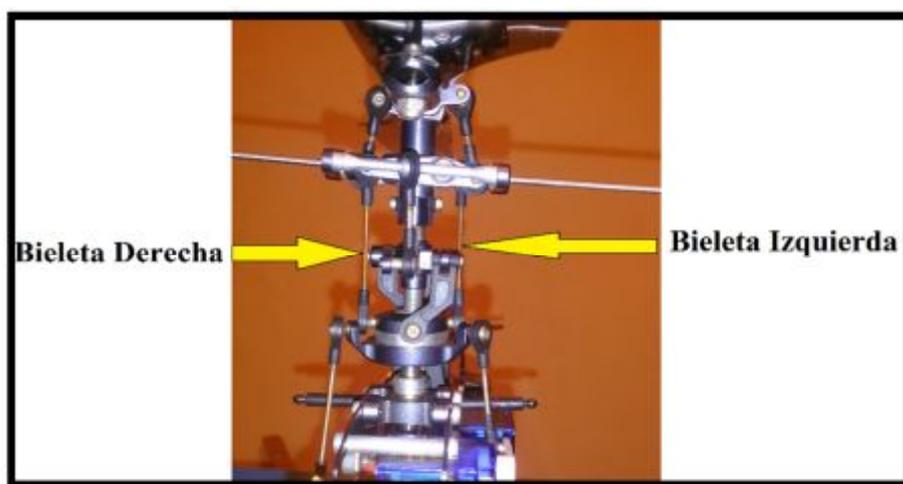


Figura 51 Ubicación de las Bieletas Izquierda y Derecha

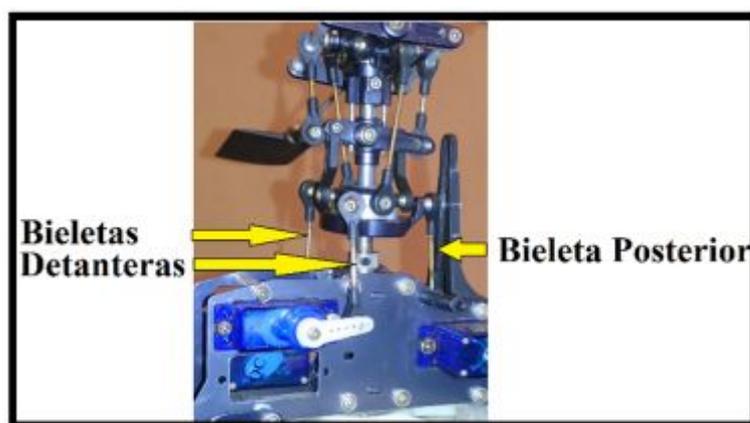


Figura 52 Ubicación de las bieletas delanteras y bieleta posterior

- Vale la pena mencionar que todos estos ajustes deben hacerse con el motor desconectado, debido a que el movimiento que se realiza si estuviese conectado, podría generar daños en su mecanismo de vuelo.

3.4 DEMOSTRACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN AERODINÁMICA DEL HELICÓPTERO CON UNA CAMARA DE HUMO

3.4.1 Despegue.

Al momento del despegue, una vez que la aeronave rompe la inercia y comienza a elevarse, se puede observar cómo el humo es succionado por las aspas del rotor principal. Gracias a la fuerza de sustentación, producto de la energía liberada en el giro del motor principal en contacto con el peso del aire, el helicóptero se puede levantar del suelo e iniciar vuelo. En las figuras que se presentan a continuación se puede observar el fenómeno de succión del aire por parte de las aspas del rotor principal:



Figura 53 Despegue del helicóptero

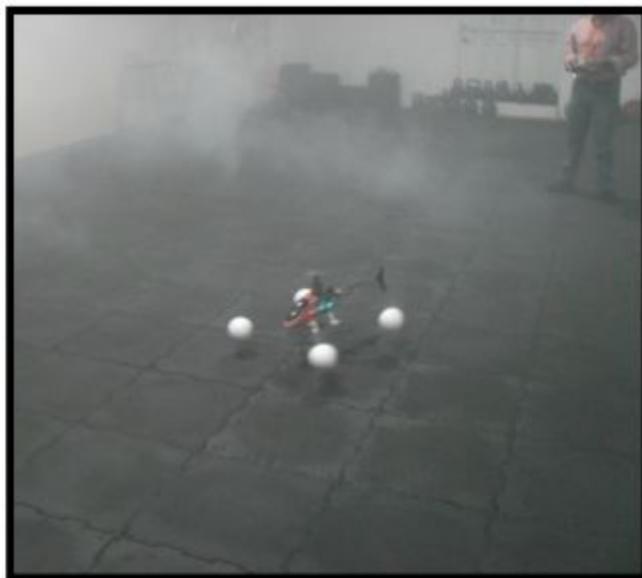


Figura 54 Despegue y succión del humo

3.4.2 Giros del helicóptero en el aire

Cuando el helicóptero está en el aire y se inicia a manipular la palanca derecha del control remoto: se observó cómo al momento de hacer un giro, el humo era halado por las palas del rotor principal. En este sentido, se observó de una manera más clara el efecto del aire en la aerodinámica del helicóptero.



Figura 55 Movimiento hacia adelante



Figura 56 Movimiento hacia atrás

3.4.3 Aterrizaje

A medida que el helicóptero descendía se observó cómo se forma el colchón de aire debajo de la aeronave, permitiendo así un aterrizaje seguro de la misma.



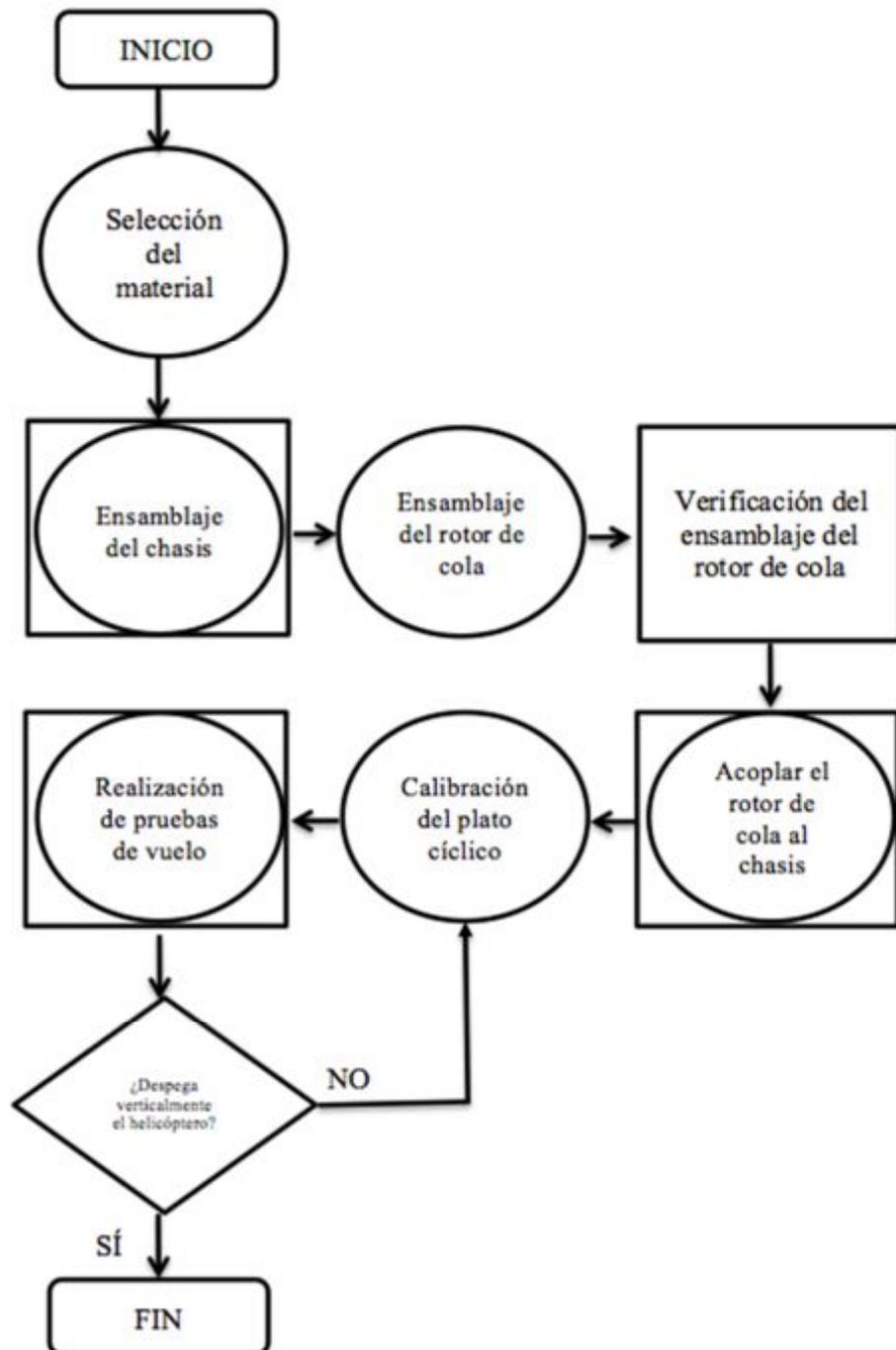
Figura 57 Descenso del helicóptero



Figura 58 Aterrizaje del helicóptero

Es necesario mencionar que estas pruebas se deben realizar en lugares amplios, pero cerrados, para que no haya ráfagas inesperadas de aire y poder utilizar la cámara de humo. Un espacio así ayuda a la estabilidad de la aeronave. La práctica de vuelo por parte de quien opera el helicóptero es importante, con todo, para precautelar y cuidar a la aeronave, se debe colocar soportes en los *skids* (espuma *flex*); éstos ayudarán a amortiguar la máquina en caso de caída.

3.5 FLUJOGRAMA DEL PROCESO DE ENSAMBLAJE DE UN HELICÓPTERO A ESCALA (MODELO BLADE 450)



CAPÍTULO IV

4.1 CONCLUSIONES

- El desarrollo del marco histórico concerniente a los helicópteros permite ubicar las especificidades y características particulares de este tipo de aeronaves. En este sentido, el marco histórico facilitó discriminar el tipo de aeronave que se utilizó en el desarrollo del proyecto, en relación a otros tipos tales como aviones, transbordadores, drones, entre otros.
- El desarrollo del marco conceptual del funcionamiento de los helicópteros permitió que a lo largo del desarrollo del proyecto se logre fundamentar, de manera concreta y sólida, la forma en que actúa la fuerza de sustentación en la generación del vuelo de la aeronave. Así mismo, sintetizar la teoría desarrollada sobre el funcionamiento de estas aeronaves, permitió que se aplique dicho conocimiento a un modelo concreto de helicóptero, como lo es el *Blade 450* utilizado.
- La fuerza de sustentación genera el vuelo en un helicóptero. La fricción entre la energía liberada por el motor y, la masa del aire es la causa más importante de la elevación de un helicóptero. Esto pudo ser observado en el proceso de aplicación y experimentación del conocimiento realizado.
- El proceso de sustentación de un helicóptero, en un ambiente simulado de túnel de viento por medio de una cámara de humo, permite identificar las fuerzas que interactúan en los principales movimientos de un helicóptero a escala: despegue, giros y aterrizaje. El humo que se dinamiza o se mueve, recorriendo el helicóptero y posteriormente,

alejándose del mismo, es la prueba del ejercicio de una fuerza: la sustentación.

- El montaje realizado entre el modelo a escala *Blade 450* y, la cámara de humo, constituye material didáctico significativo para mediar el aprendizaje de las fuerzas que generan el vuelo de un helicóptero. No solo se puede aprender sobre la estructura de la aeronave, sino también observar y participar en su funcionamiento.

4.2 RECOMENDACIONES

- Es importante contar con todas las herramientas necesarias para ensamblar la aeronave, principalmente con las referidas en las cajas de herramientas propias de cada modelo.
- Debido a que los manuales utilizados están en idioma inglés, es importante que quien intente desarrollarlos o aplicarlos tengan conocimientos de inglés técnico.
- En el pre vuelo de la aeronave es recomendable despejar toda el área y encender primero el control remoto antes de conectar los cables de alimentación del motor, ya que si se conecta primero el helicóptero y no recibe señal alguna, puede entrar en descontrol en tierra.
- Si se va a utilizar la cámara humo se debe conectar ocho minutos antes de la prueba que se vaya a realizar.
- Se debe tener en cuenta el tiempo de vuelo de la aeronave ya que las baterías utilizadas en el proyecto, solo funcionan por algunos minutos (10 minutos como máximo).

- El pilotaje de la aeronave lo debe realizar una persona calificada, para evitar daños o potenciales accidentes.
- Para sacar el máximo provecho de una prueba de vuelo, se la debe realizar en un lugar cerrado donde no haya corrientes inesperadas de aire.

GLOSARIO

A

Abrazadera.- Pieza de metal, madera u otro material que rodea una cosa y sirve para apretarla o asegurarla a otra.

Aerodinámica.- Parte de la mecánica que estudia el movimiento de los gases sobre los cuerpos estacionados y el comportamiento de los cuerpos que se mueven en el aire.

Aeroplano.- Vehículo mecánico, más pesado que el aire, que vuela horizontalmente propulsado por uno o más motores; está formado por una cápsula alargada central con alas a cada costado.

Asimetría.- Falta de simetría.

Aterrizaje.- Acción de aterrizar.

Autogiro.- Aeronave provisto de dos hélices, una en la parte delantera y otra en la parte superior central formada por dos grandes palas; este sistema permite que el aparato pueda despegar o aterrizar casi verticalmente.

B

Bieleta.- Se llama bieleta de anclaje o de reacción una varilla, provista de dos ojeteros o articulaciones en sus extremos, utilizada para oponerse a los esfuerzos de tracción o compresión.

Borde de Ataque.- es el borde delantero del ala, o, dicho de otra forma, la parte del ala que primero toma contacto con el flujo de aire.

Brushless.- motor sin escobillas.

C

Chasis.- Armazón que sostiene el motor y la carrocería de un vehículo.

Coaxial.- Que tiene el mismo eje que otro cuerpo.

Convexo.- Que tiene, respecto del que mira, forma curva más prominente en el centro que en los bordes.

D

Densidad.- Relación entre la masa y el volumen de una sustancia, o entre la masa de una sustancia y la masa de un volumen igual de otra sustancia tomada como patrón.

Desenroscar.- Sacar un tornillo o una tuerca de la parte a la que se había ajustado dándole vueltas.

Desmontar.- Separar las piezas que forman un objeto o una estructura, deshaciéndolos.

Despegue.- Acción de comenzar un proceso de desarrollo.

E

Efecto torque.- El torque es la fuerza aplicada en una palanca que hace rotar alguna cosa.

Empuje.- Fuerza o impulso de la persona o cosa que empuja.

Engranaje.- Conjunto de ruedas dentadas y piezas que encajan entre sí y forman parte de un mecanismo o de una máquina.

Enroscar.- Introducir un tornillo o una tuerca en el lugar adecuado dándole vueltas

Envergadura.- Distancia entre las dos puntas de las alas de un ave cuando están completamente extendidas.

Extrados.- Parte superior del perfil

E

Flybar.- Barra de vuelo

E

Glicerol.- Sustancia incolora, viscosa y de sabor dulce, que se obtiene de grasas y aceites animales y vegetales

Gyro.- dispositivo que ayuda a mantener la estabilidad de la aeronave.

H

Hélices.- es un dispositivo mecánico formado por un conjunto de elementos denominados palas o álabes, montados de forma concéntrica y solidarias de un eje que, al girar, las palas trazan un movimiento rotativo en un plano.

Helicoidal.- Que tiene forma de hélice.

I

Inercia.- Incapacidad que tienen los cuerpos de modificar por sí mismos el estado de reposo o movimiento en que se encuentran.

Intrados.- Parte inferior del perfil.

N

Navegación.- Viaje o jornada que se hace en un barco o en una nave.

O

Octanaje.- Porcentaje de octano que contiene la gasolina

P

Plato cíclico.- Pieza estructural donde están las bieletas para guiar las palas del rotor principal.

S

Servomotores.- es un dispositivo similar a un motor de corriente continua que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación, y mantenerse estable en dicha posición.

Simetría.- Correspondencia de posición, forma y tamaño, respecto a un punto, una línea o un plano, de los elementos de un conjunto o de dos o más conjuntos de elementos entre sí.

Stall.- Es un fenómeno aerodinámico que consiste en la disminución más o menos súbita de la fuerza de sustentación que genera la corriente incidente sobre un perfil aerodinámico.

Sustentación.- Acción de sustentar o sustentarse

Swash type.- tipo de chapoteo.

T

Traslacional.- es aquél que desarrollan los cuerpos que trazan curvas de amplio radio en comparación a sus respectivas dimensiones.

V

Vórtices.- es un flujo turbulento en rotación espiral con trayectorias de corriente cerradas.

Vuelo estacionario.- cuando un helicóptero mantiene una posición constante sobre un punto seleccionado

ABREVIATURAS

RC: radio control

A.C.: antes de Cristo

RG: serie del receptor

AB: serie de la cámara de humo.

DMSS: dual modulation spectrum system

XG: serie del control remoto

LST: lista

PRO: profesional

HXT: hextronic

RTR: rotor

MPG: engranaje del piñón del motor

HZ: hercios

DS: servo digital

CA: corriente alterna

ALG: align

LTG: Latacunga

TLGO: tecnólogo

BIBLIOGRAFÍA

Align Corporation Limited (2007), Taiwan. T-ex 450 SE New V2 Instruction Manual. Align

Align Corporation Limited (2007), Taiwan. T-ex 450 Pro Instruction Manual. Align.

ALVAREZ LOPEZ, N. A. R. C. E. (2012). *ANÁLISIS Y CONTROL DINAMICO DE UN HELICÓPTERO A ESCALA SOBRE PLATAFORMA* (Doctoral dissertation). Tícoman: Instituto Politécnico Nacional. (Tesis)

Béjar, M., & Ollero, A. (2008). *Modelado y control de helicópteros autónomos. Revisión del estado de la técnica. Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 5(4), 5-16.

Carmona, A. I. (2015). *Aerodinámica y actuaciones del avión*. Ediciones Paraninfo, SA.

Cabezas Cevallos, S. A., & Cárdenas Morillo, L. F. (2015). *Diseño y construcción de un prototipo de helicóptero no tripulado para monitoreo aéreo en lugares de difícil acceso* (Doctoral dissertation, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Carrera de Ingeniería en Mecatrónica.). Sangolquí: ESPE (Tesis)

Cruz Aguilar, I., & López Salas, M. A. (2013). *Diseño y obtención del programa de maquinado de un fuselaje prototipo de helicóptero y determinación de coeficientes aerodinámicos mediante simulación numérica* (Doctoral dissertation).

Evia del Puerto Gutiérrez, Y., Melchor, H., & Alberto, J. (2013). *Diseño aerodinámico y manufactura en materiales compuestos de una pala del rotor principal de un helicóptero de radio control*. México: Instituto Politécnico Nacional (Tesis).

Espuga Zaragoza, M. (2011). *Modelización y control LPV de un helicóptero a dos grados de libertad*.

García Martínez, M. A., & Lozano Amaro, J. C. (2015). *Análisis de esfuerzos en una flecha de un helicóptero a escala*. Tícoman: Instituto Politécnico Nacional. (Tesis)

Lessan, L. (13 de Enero de 2013). *Gohobby*. Obtenido de Elegir tu helicóptero RC ¿Qué tipos existen?: <https://goo.gl/ophNud>

Martínez Olmos, R. C., & Oliva Olivera, A. J. (2015). *Simulación de movimiento asistido con las herramientas CAD/CAE de un sistema de control cíclico en un helicóptero Bell 206*. Ticomán: Instituto Politécnico Nacional. (Tesis)

Raffo, G. V. (2007). *Modelado y Control de un Helicóptero Quad-Rotor*. MS, disertación, Dept. telemática, automática y robótica, Univ. de Sevilla. Sevilla: Universidad de Sevilla (Tesis)

Rizo Salgado, R., & Santos Benavides, I. (2015). *Metodología de la implantación de un taller aeronáutico para la reparación de palas de helicóptero*. Ticomán: Instituto Politécnico Nacional. (Tesis)

Roncero, S. E., & Jiménez, F. G. (2009). *Aeronaves y vehículos espaciales*.

Rosales, C., Scaglia, G., Carelli, R., & Jordan, M. (2011). *Seguimiento de trayectoria de un mini-helicóptero de cuatro rotores basado en métodos numéricos*. XIV Reunión de Trabajo Procesamiento de la Información y Control, 495-500.

Ruiz, J. L. L. (1993). *Helicópteros: Teoría y diseño conceptual*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Venzor, J. A. P., Aceves, J. M. S., Ramos, J. O. R., Martínez, V. H. R., Hernández, F. L., & Zubia, V. M. H. (2016). *Sistema de dirección de helicóptero recreativo a través de internet usando dispositivos con sistema operativo android*. CULCyT, (57). Tijuana: Instituto Politécnico Nacional. (Tesis)

ANEXOS