

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR AERONÁUTICO

CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA

**CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO A ESCALA EN CONTROLES
DE VUELO PARA EL APRENDIZAJE DE LOS ESTUDIANTES DE
MECÁNICA AERONÁUTICA**

POR:

XAVIER ESTEBAN OLALLA VITERI

**Trabajo de Graduación como requisito previo para la obtención del Título
de:**

**TECNÓLOGO EN MECÁNICA AERONÁUTICA
MENCIÓN MOTORES**

2013

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente Trabajo de Graduación fue realizado en su totalidad por el Sr Xavier Esteban Olalla Viteri, como requerimiento parcial para la obtención del título de TECNÓLOGO EN MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN MOTORES.

Ing. Hebert Atencio Vizcaíno
SUBS. TÉC. AVC.

Latacunga, Agosto 27 de 2013

DEDICATORIA

A mis padres, hermanos y sobrinos

Mi madre Nancy Viteri, por darme el regalo de la vida, amarme y cuidarme desde que era un niño hasta la actualidad, apoyarme y por preocuparse de mí cuando estaba lejos de casa. Madre mía nunca me faltó nada y te agradezco por todo lo que has hecho por mí.

Mi padre Manuel Olalla, por buscar lo mejor para mí, formarme para ser una persona de bien, enseñarme y aconsejarme en todo momento y lugar. Padre te doy las gracias porque gracias a ti soy quien soy.

Mi hermana Cristina y mis hermanos Arturo y Guillermo, quienes me apoyaron en mi formación profesional, les agradezco por todos los momentos que vivimos juntos y por los todos los consejos que llegaron a mí para superarme día a día.

Mis sobrinos y mis sobrinas, les dedico mi trabajado como un gran ejemplo de esfuerzo y sacrificio, para que crezcan con muchos sueños y metas en sus vidas y para que los puedan cumplir y llegar a lo más alto.

Sr. Xavier Esteban Olalla Viteri

AGRADECIMIENTO

Al Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico y de manera especial a la Carrera de Mecánica Aeronáutica por abrirme sus puertas para permitirme estudiar y poner en práctica todo lo aprendido para ser un gran profesional.

A todos los docentes del Instituto quienes me impartieron sus conocimientos y que me brindaron su amistad incondicional. De manera especial agradezco al Ing. Guillermo Trujillo, Ing. Hebert Atencio y al Tlgo. Ulises Cedillo quienes me brindaron todo su apoyo durante mis estudios.

A todos mis familiares; mi abuelito y mi abuelita, tíos, tías, primos y primas; quienes estuvieron ahí para apoyarme y brindarme de su ayuda a pesar de estar lejos de mi hogar y además agradezco por su valioso tiempo y colaboración para realizar el presente proyecto de grado.

Y un agradecimiento muy especial a la Srta. Cristina Robalino quien me brindó todo su apoyo, me aconsejó y estuvo presente en esos momentos duros de la vida cuando más necesitaba de alguien. Muchas gracias por ser mi fuerza y gracias a ella sé que nada en esta vida es imposible, quién me enseñó “SOLO VUELA MÁS ALTO”.

Sr. Xavier Esteban Olalla Viteri

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA	i
CERTIFICACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	1
SUMMARY	2

CAPÍTULO I

EL TEMA

1.1	Antecedentes	3
1.2	Justificación e importancia	4
1.3	Objetivos	5
1.3.1	Objetivo general	5
1.3.2	Objetivos secundarios	5
1.4	Alcance	5

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1	Túnel de viento aerodinámico	7
2.1.1	Concepto	7
2.1.2	Funcionamiento	8
2.1.3	Clasificación	9
2.1.3.1	La circulación del aire en su interior	9
2.1.3.1.1	Túnel de viento cerrado	9
2.1.3.1.2	Túnel de viento abierto	10
2.1.3.1.3	Túnel de viento soplado o aspirado	10
2.1.3.2	La velocidad del flujo en su interior	11
2.1.3.2.1	Velocidad subsónica	11
2.1.3.2.2	Velocidad transónica	11

2.1.3.2.3	Velocidad supersónica	11
2.1.3.2.4	Velocidad hipersónica	11
2.1.4	Partes del túnel de viento	13
2.1.4.1	Compartimiento que acomoda	13
2.1.4.2	Cono de contracción	13
2.1.4.3	Sección de prueba	13
2.1.4.4	Difusor.....	14
2.1.4.5	Sección del mecanismo impulsor	14
2.2	Mandos de vuelo y superficies de control del avión.....	14
2.2.1	Mandos de vuelo	14
2.2.1.1	Concepto.....	14
2.2.1.2	Clasificación	15
2.2.1.2.1	Mandos de vuelo primarios	15
2.2.1.2.1.1	Palanca de mando (Sidesticks).....	16
2.2.1.2.1.2	Pedales	16
2.2.1.2.1.3	Tipos de mandos de vuelo primarios.....	17
2.2.1.2.2	Mandos de vuelo secundarios	19
2.2.1.2.2.1	Slats	19
2.2.1.2.2.2	Flaps	20
2.2.1.2.2.3	Aletas compensadoras	24
2.2.1.2.2.4	Spoilers	24
2.2.2	Superficies de control.....	25
2.2.2.1	Centro de gravedad.....	25
2.2.2.2	Ejes del avión.....	26
2.2.2.2.1	Eje x o longitudinal	26
2.2.2.2.2	Eje y o lateral	26
2.2.2.2.3	Eje z o vertical.....	26
2.2.2.3	Desplazamientos del avión.....	27
2.2.2.3.1	Alabeo.....	27
2.2.2.3.2	Cabeceo.....	27
2.2.2.3.3	Guiñada	27
2.3	Aerodinámica	31
2.3.1	Concepto.....	31
2.3.2	Flujo de aire aerodinámico	31

2.3.2.1	Flujo laminar.....	31
2.3.2.2	Flujo turbulento	32
2.3.3	Fuerzas presentes en un avión durante el vuelo	32
2.3.3.1	Concepto.....	32
2.3.3.2	Clasificación	32
2.3.3.2.1	Sustentación	33
2.3.3.2.2	Peso.....	34
2.3.3.2.3	Resistencia.....	34
2.3.3.2.4	Empuje o tracción.....	35
2.4	Sistemas funcionales del Kit del Radio Control – Ready to Fly.....	36
2.4.1	Micro servos.....	36
2.4.2	Control transmisor de 4 canales	37
2.4.3	Baterías Li-Po y cargador portátil DC	38
2.5	Materiales para la construcción del prototipo.....	40

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.1	Preliminares	42
3.2	Estudio de alternativas	43
3.2.1	Descripción de alternativas	43
3.2.1.1	Alternativas para el túnel de viento.....	43
3.2.1.2	Alternativas para el avión a escala	44
3.2.2	Análisis de factibilidad	45
3.2.2.1	Alternativas para el túnel de viento.....	45
3.2.2.2	Alternativas para el modelo estacionario	46
3.2.3	Selección de la mejor alternativa.....	48
3.3	Diseño.....	49
3.3.1	Descripción de los elementos del sistema	49
3.3.1.1	Avión a radio control.....	49
3.3.1.2	Fuente de aire	51
3.3.1.3	Túnel de Viento Aerodinámico	53
3.3.1.4	Estructura base del túnel.....	55
3.3.2	Programa de diseño Rhinoceros 3D.....	56
3.4	Construcción	57

3.4.1	Cilindro de acrílico.....	57
3.4.2	Domos de acrílico para sección divergente y sección de salida	60
3.4.3	Fuente de aire	62
3.4.4	Avión a radio control.....	64
3.4.5	Estructura base	66
3.5	Diagrama de construcción y ensamblaje	68
3.5.1	Diagramas de procesos del túnel de viento	69
3.5.2	Diagrama de procesos de la secciones de salida y divergente.....	71
3.5.3	Diagrama de procesos para la estructura base	72
3.5.4	Diagrama de procesos para el avión a radio control.....	74
3.5.5	Diagrama de ensamblaje final	75
3.5.6	Partes del prototipo en controles primarios de vuelo	76
3.6	Pruebas y análisis de resultados	77
3.7	Documentos de aceptación del usuario.....	80
3.8	Análisis económico.....	86

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1	Conclusiones.....	88
4.2	Recomendaciones.....	89

GLOSARIO	90
SIGLAS	91
BIBLIOGRAFÍA	93

ANEXOS

Anexo A – Planos del Prototipo a Escala en Controles de Vuelo	95
Anexo B – Manuales de Instrucción	102
HOJA DE VIDA	123
HOJA DE LEGALIZACIÓN DE FIRMAS	125
CESIÓN DE DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL.....	126

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

EL TEMA

Tabla		Pág.
1.1	Antecedentes de la Investigación.....	3

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Tabla		Pág.
2.1	Especificaciones batería Li-po.....	39

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

Tabla		Pág.
3.1	Estudio de los parámetros de evaluación.....	48
3.2	Especificaciones avión T-28 Trojan.....	50
3.3	Especificaciones ventilador de aire.....	52
3.4	Simbolización de los diagramas de procesos.....	68
3.5	Nomenclatura de las partes del prototipo.....	76
3.6	Prueba No. 1.....	78
3.7	Análisis de resultados prueba No. 1.....	78
3.8	Prueba No. 2.....	79
3.9	Análisis de resultados prueba No. 2.....	79
3.10	Prueba No. 3.....	80
3.11	Costo de los elementos del sistema.....	86
3.12	Costo de materiales de apoyo.....	86
3.13	Costo total del prototipo a escala en controles de vuelo.....	87

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

Figura		Pág.
2.1	Avión dentro de un túnel de viento.....	7
2.2	Funcionamiento de un túnel de viento.....	8
2.3	Túnel de viento cerrado.....	9
2.4	Túnel de viento abierto.....	10
2.5	Tipo de túneles aerodinámicos por la velocidad.....	12
2.6	Clasificación y regímenes de vuelo.....	12
2.7	Partes del túnel de viento	14
2.8	Mandos de vuelo.....	15
2.9	Elementos de actuación.....	16
2.10	Funcionamiento de los alerones.....	17
2.11	Funcionamiento del timón de profundidad.....	18
2.12	Funcionamiento del timón de dirección.....	18
2.13	Slat fijo.....	19
2.14	Esquema de un “slat” controlable por el piloto.....	20
2.15	Flap simple y flap intrados.....	21
2.16	Flap ranurado de borde de salida.....	22
2.17	Operación de un flap fowler.....	22
2.18	Flap de borde de ataque.....	23
2.19	Flap Kruger.....	24
2.20	Spoilers.....	25
2.21	Centro de gravedad.....	26
2.22	Ejes del avión.....	27
2.23	Movimiento de alabeo.....	28
2.24	Movimiento de cabeceo.....	29
2.25	Movimiento de guiñada.....	30
2.26	Flujo laminar en un perfil alar.....	31
2.27	Flujo turbulento en un perfil alar.....	32
2.28	Fuerzas presentes durante el vuelo.....	33

2.29	Sustentación.....	33
2.30	Peso.....	34
2.31	Resistencia.....	35
2.32	Empuje o tracción.....	35
2.33	Micro servo (AS2000).....	36
2.34	Control radio transmisor de 4 canales.....	37
2.35	Funciones del control.....	38
2.36	Batería Li-po.....	38
2.37	Cargador Portátil (baterías AA).....	39
2.38	Poliestireno Expandido (Espumaflex).....	40
2.39	Acrílico Transparente.....	41

CAPÍTULO III DESARROLLO DEL TEMA

Figura		Pág.
3.1	Avión a escala de poliestireno expandido.....	44
3.2	Avión a escala de resina epóxica.....	45
3.3	Estadísticas del estudio de alternativas.....	48
3.4	Ventilador Continental Electric.....	51
3.5	Malla cuadrangular de plástico (loovers).....	53
3.6	Cilindro de acrílico.....	54
3.7	Estructura base.....	55
3.8	Ruedas con frenos incorporados.....	56
3.9	Programa de diseño Rhinoceros.....	57
3.10	Trazado, corte y pulido de las circunferencias.....	58
3.11	Armado de la estructura de madera y corte del tol.....	59
3.12	Armado y lijado del molde del cilindro de acrílico.....	59
3.13	Armado del cilindro del acrílico.....	60
3.14	Limpieza y acabado del cilindro.....	60
3.15	Trazado y corte de circunferencias.....	61
3.16	Sección de salida y sección divergente.....	61
3.17	Acabado de las secciones.....	62
3.18	Corte de los loovers con laser.....	63

3.19	Lijado e instalación de las circunferencias.....	63
3.20	Instalación de los loovers a la estructura del ventilador.....	64
3.21	Avión a radio control T-28 Trojan.....	65
3.22	Calibración de superficies de vuelo.....	65
3.23	Eje de soporte del avión.....	66
3.24	Corte y armado estructural	67
3.25	Pulido y acabado del cajón.....	67
3.26	Instalación de tabla triplex y soportes	68
3.27	Diagrama de procesos del cilindro de acrílico.....	69
3.28	Diagrama de procesos de las secciones.....	71
3.29	Diagrama de procesos de la estructura base.....	72
3.30	Diagrama de procesos del avión a radio control.....	74
3.31	Diagrama de ensamblaje final.....	75
3.32	Prototipo a escala en controles de vuelo.....	77

RESUMEN

El prototipo a escala en controles de vuelo tiene como fin ampliar los conocimientos en los estudiantes de Mecánica Aeronáutica sobre temas relacionados de aerodinámica, superficies y controles de vuelo y además sobre los sistemas funcionales del avión.

La información obtenida para la elaboración del presente trabajo de grado se obtuvo en manuales de entrenamiento y mantenimiento, libros de aviación y aerodinámica, revistas e internet.

El prototipo a escala en controles de vuelo posee un túnel de viento que fue construido mediante un cilindro de acrílico de 60 cm de diámetro y 80 cm de largo, dos domos de acrílico de 60 cm de diámetro; uno para la sección de salida y otro para la sección divergente con un anillo de acrílico de 7 cm de largo, un ventilador de flujo de aire potente con 3 velocidades de 20 pulgadas, loovers plásticos con la finalidad que estos rectifiquen el aire proporcionado por el ventilador.

En la sección de prueba se instaló un avión a radio control (T-28 Trojan), el mismo que posee sus respectivas superficies de vuelo como son alerones, rudder y elevadores. Este avión usa baterías Li-po (Lithium Polymer) y además es controlado por un control de 4 canales, los que se encuentran en el cajón de almacenamiento con su respectivo cargador y manual de instrucción.

El prototipo se encuentra sobre una estructura metálica de 115 cm de largo, 70 cm de ancho y 84 cm de alto, esta fue construida con ángulos de 90° de 3 cm x 3 mm. La estructura posee ruedas plásticas con frenos para su movilidad y un cajón de almacenamiento.

Para garantizar el funcionamiento correcto del prototipo se realizaron pruebas de funcionamiento en los elementos del sistema, las que fueron analizadas cuidadosamente, hasta que el prototipo se encuentre en óptimas condiciones para su uso y demostración. Además posee un manual de operación, seguridad y mantenimiento, los que se deben leer para comprenderlos.

SUMMARY

The scale prototype flight controls pretends to expand knowledge in Aeronautical Mechanical students on topics related to aerodynamics, flight surfaces and controls and also on issues related to functional systems of the aircraft.

The information collected for the preparation of this project was obtained from training and maintenance manuals, aviation and aerodynamics books, magazines and internet.

The scale prototype flight controls has a wind tunnel that was built by an acrylic cylinder of 60 cm diameter and 80 cm long, two acrylic domes 60 cm in diameter, one for the output section and one for the divergent section with a ring acrylic 7 cm long, a 20 inches flow fan with 3 speed and with plastics loovers witch objective is to rectify the air provided by the fan.

A radio controlled aircraft (T-28 Trojan) was installed in the test section, equipped with ailerons, rudder and elevators. This aircraft uses Li-po (Lithium Polymer) batteries it is controlled by a 4-channel control, which are stored in the drawer with its own charger and instruction manual.

The prototype is on a metal frame 115 cm long, 70 cm wide and 84 cm high, this was built with angles of 90° of 3 cm x 3 mm. The structure has a storage box and plastic wheels with brakes for mobility.

To ensure proper operation of the prototype several tests were performed, which were analyzed carefully, until the prototype is in good condition for use it. It also has an operation, safety and maintenance manuals, to support the correct operation.

CAPÍTULO I

EL TEMA

1.1 Antecedentes

Los estudiantes que realizaron sus estudios en el Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico y desean obtener una Tecnología, tienen como previo requisito realizar un trabajo escrito y práctico en donde se aplique los conocimientos adquiridos en clases. Como antecedentes para realizar el presente proyecto se ha tomado en cuenta otros proyectos de grado sobre túneles de viento y movimientos del avión, los que se encuentran ubicados dentro del laboratorio de hidráulica y en el exterior del Bloque 42.

En la siguiente tabla se puede observar con mayores detalles.

Tabla 1.1. Antecedentes de la Investigación

TEMA DE TESIS	CREADO POR
Implementación de un simulador tipo túnel de viento de la variación de presiones según la movilidad de una superficie de control en el eje Y	Cevallos Cruz Luis Carlos
Construcción de un túnel de viento de baja velocidad	Altamirano C Gonzalo P.
	Muñoz G. Milton S
	Muñoz P. Ludwin A.
Implementación de los movimientos de alabeo, cabeceo y guiñada, a través de cilindros hidráulicos a la estructura simuladora de movimientos para la cabina del Boeing 707	Espinoza Moya George D.
	Mejía Paucar Jairo T.
	Mina Andrade Ricardo D.

Elaborador por: Xavier Esteban Olalla Viteri

Cada uno de los temas posee su trabajo escrito que se encuentra dentro de la biblioteca con su respectivo código y además posee su aplicación práctica, los que se encuentran en los laboratorios del Instituto.

El prototipo a escala en controles de vuelo busca unificar la información de los proyectos de graduación anteriormente mencionadas y construir un solo proyecto práctico, en donde abarque toda la información necesaria para su uso y estudio.

1.2 Justificación e importancia

Los laboratorios del Instituto cuentan con una amplia gama de proyectos que son de suma importancia. Al realizar una observación de los diferentes proyectos se ha visto la necesidad de construir una maqueta que sea aplicada a diferentes materias para el aprendizaje sobre temas relacionados a la aviación, por ello la construcción de un prototipo a escala en controles de vuelo es de vital importancia dentro de un laboratorio.

Mediante la elaboración del presente proyecto se busca que el estudiante observe como un avión realiza los diferentes tipos de movimientos durante un vuelo y como estos son accionados. Además el trabajo de grado será una fuente de investigación en donde el estudiante podrá encontrar la información necesaria para la elaboración de deberes, trabajos de grupo, investigaciones, exposiciones, entre otros.

La construcción de un prototipo a escala de controles de vuelo permitirá al estudiante comprender de una mejor forma temas relacionados a la aerodinámica y túneles de viento, controles de vuelo primarios y secundarios, superficies de control, movimientos del avión y elementos de actuación. El desarrollo del material didáctico permitirá a los estudiantes de Mecánica Aeronáutica optimizar conocimientos sobre los temas a tratarse para lograr su aplicación en el campo laboral.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Construir un prototipo a escala de los controles primarios de vuelo mediante un túnel de viento con la inclusión de un avión con micro servos, que simula los movimientos del avión en el aire para el aprendizaje de los estudiantes de la Carrera de Mecánica Aeronáutica.

1.3.2 Objetivos secundarios

- Recolectar suficiente información sobre temas relacionados a mandos de vuelo y superficies de control, aerodinámica y túneles de viento.
- Elaborar un diseño gráfico mediante la aplicación de un software para su análisis correspondiente.
- Seleccionar y adquirir los mejores materiales que cumplan con los requerimientos establecidos para ser utilizados en la construcción del trabajo práctico.
- Construir el prototipo basándose en el diseño gráfico y los cálculos realizados mediante los materiales requeridos.
- Realizar pruebas de control a cada una de las partes del prototipo a escala para garantizar su funcionamiento.
- Elaborar manuales de operación, mantenimiento y seguridad para explicar el uso correcto del prototipo a escala en controles de vuelo para evitar daños en el mismo.

1.4 Alcance

El prototipo a escala en controles de vuelo se limitará a usar un túnel de viento de baja velocidad y un avión que posea micro servos en las superficies de control y

vuelo principales, los mismos que realizarán los respectivos movimientos mediante el uso de los elementos de actuación los que serán operados por un control transmisor de 4 canales. Además el prototipo poseerá un panel integrado en la mesa del soporte en donde se podrán observar los manuales de operación, mantenimiento y seguridad y además en este se encontrará el puerto externo de alimentación del avión.

La operación y estudio del prototipo únicamente será dentro de los laboratorios del Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico por una persona capacitada que sea designada y que pertenezca a la Carrera de Mecánica Aeronáutica.

Además el presente proyecto se constituirá en una fuente de investigación para cualquier persona que pertenezca a la comunidad del ITSA o para quién se encuentre interesado sobre los diferentes temas que fueron mencionados anteriormente.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Túnel de viento aerodinámico

2.1.1 Concepto

“El túnel de viento es una instalación experimental que sirve para estudiar cómo actúa el viento al incidir sobre objetos de distintas formas y naturaleza. Estos estudios permiten predecir las fuerzas generadas cuando estos cuerpos se desplazan por la acción del viento sobre cuerpos estacionarios (edificios, antenas).”¹



Figura 2.1. Avión dentro de un túnel de viento

Fuente: <http://interdefensa.argentinaforo.net/t4697-boeing-concluye-pruebas-de-tunel-de-viento-del-caza-f-15se-silent-eagle>

¹http://www.madrimasd.org/cienciaysociedad/feria/publicaciones/Feria5/25/CF_RJC_Tunelvientoaerog.pdf

2.1.2 Funcionamiento

Dentro de un túnel de viento el aire es impulsado o succionado por una fuente de aire como un ventilador, además para que el aire sea laminar se necesita de unas rejillas rectificadoras como loovers plásticos, mediante el aire laminar se puede hacer los estudios respectivos.

“Los túneles de viento se basan en el concepto de que un modelo estacionario con aire que se mueve a su alrededor reacciona de la misma manera que en el caso de un avión a escala real que se mueve a través del aire estacionario. En ocasiones sólo se prueba en un túnel de viento parte de un avión, como un ala o un motor.”² Además se puede realizar pruebas en el túnel de viento con un avión a escala sea comercial, de combate o de baja potencia.

Los túneles de viento por algunos años han permitido realizar estudios e investigaciones sobre cómo el aire es un factor muy importante en los aviones de baja potencia, de combate o comerciales en la sustentación de sus perfiles alares.

Este permite observar cómo influye el aire sobre las superficies planas y curvas del avión. A este estudio se lo conoce como aerodinámica.



Figura 2.2. Funcionamiento de un túnel de viento

Fuente: <http://www.taringa.net/posts/info/12102644/Aprende-Cosas-De-La-NASA-y-Del-Universo-En-Un-Ratito.html>

²http://www.tryengineering.org/lang/spanish/lessons/windtunnels_sp.pdf

2.1.3 Clasificación

Los túneles de viento aerodinámicos se pueden clasificar por la circulación del aire en su interior y por la velocidad del flujo en su interior.

2.1.3.1 La circulación del aire en su interior

Los túneles de viento se clasifican por la circulación del aire en su interior, estos poseen una subdivisión en donde la forma del túnel viento tiene una gran importancia. Estos se pueden clasificar en:

2.1.3.1.1 Túnel de viento cerrado

“La diferencia entre ellos es que el túnel cerrado tiene conectada la salida de aire con la entrada. Una ventaja muy importante que tiene el cerrado es que permite tener controladas las variables termodinámicas del aire: densidad, temperatura y presión. El túnel cerrado tiene menos pérdidas que el abierto, pero por el contrario requiere una instalación más grande y compleja que repercute directamente en el precio. El control de las condiciones del aire será un factor que también va a encarecer este tipo de túnel.

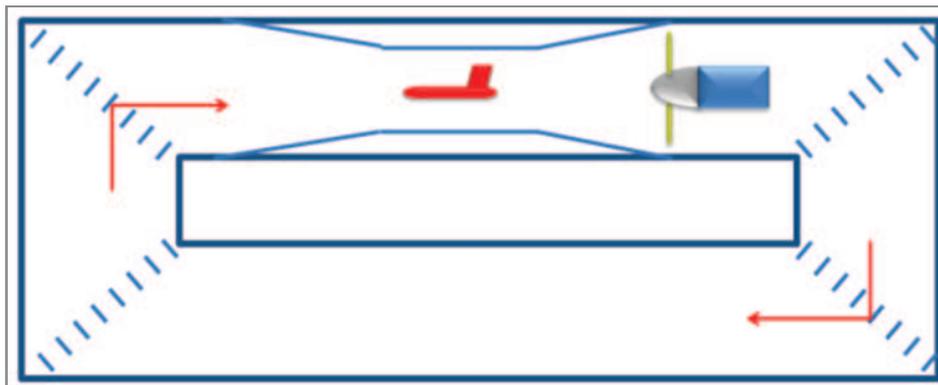


Figura 2.3. Túnel de viento cerrado

Fuente:http://es.wikipedia.org/wiki/T%C3%BAnel_de_viento#Historia_de_los_t.C3.BAneles_de_viento

2.1.3.1.2 Túnel de viento abierto

En una cámara abierta se puede colocar modelos más grandes. La desventaja que tiene es que se posee un flujo de aire menos controlado además de aumentar la pérdidas relacionadas con el aire que se escapa (las mismas que comentaba en un túnel abierto).

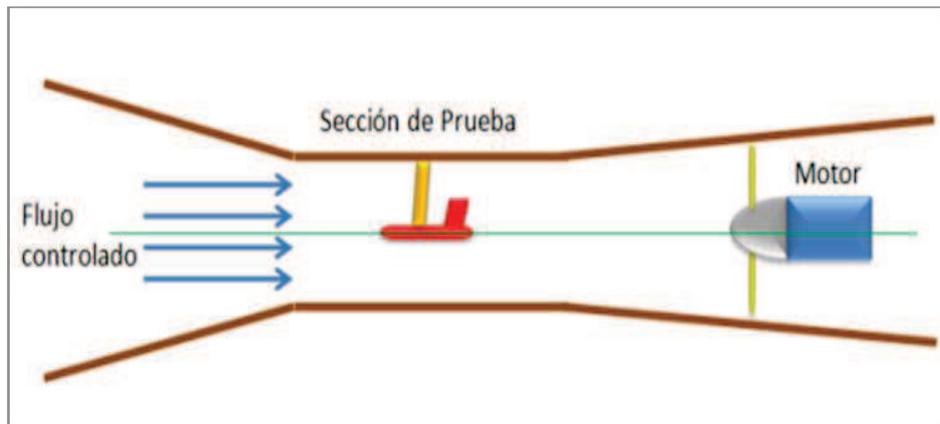


Figura 2.4. Túnel de viento abierto

Fuente:http://es.wikipedia.org/wiki/T%C3%BAnel_de_viento#Historia_de_los_t.C3.BAneles_de_viento

2.1.3.1.3 Túnel de viento soplado o aspirado

Si se toma en cuenta la disposición de los ventiladores dentro del túnel se puede diferenciar entre el túnel soplado, el que tiene el grupo de ventiladores antes de la cámara de ensayos y el aspirado, el que tiene el grupo de ventiladores después de la cámara de ensayos. Las dos configuraciones tienen ventajas e inconvenientes, una vez más dependerá del uso que queramos darle. Para tener una idea, el túnel soplado proporciona más velocidad que el aspirado. Si se observamos la uniformidad del flujo, se puede ver que en la configuración de aspiración el flujo es más regular y uniforme.”³

³<http://www.f1aldia.com/10650/tuneles-de-viento-i>

2.1.3.2 La velocidad del flujo en su interior

Los túneles de viento también pueden ser clasificados por su velocidad del flujo de aire, en donde dicha velocidad se mide en unidades de mathc, mph, km/h o m/s. Cada uno de ellos posee características específicas para cada tipo de avión.

2.1.3.2.1 Velocidad subsónica

Es aquella cuando una aeronave vuela a una velocidad menor que la del sonido, en un régimen hasta de 1 Match.

2.1.3.2.2 Velocidad transónica

Es aquella cuando una aeronave vuela en un rango entre 980 y 1475 km/h o entre 0.8 a 1.2 Match

2.1.3.2.3 Velocidad supersónica

Es aquella cuando una aeronave vuela a una velocidad mayor que la del sonido, entre un rango de 343 m/s a 1225 km/h o entre 1.2 a 5.5 Match.

2.1.3.2.4 Velocidad hipersónica

Es aquella cuando una aeronave vuela a una velocidad superior a cinco veces la velocidad del sonido, es decir en un régimen entre 4,8 y superior a 7 Match.

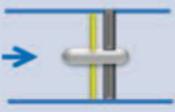
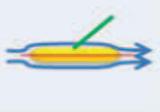
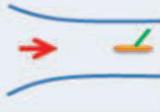
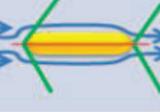
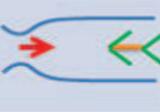
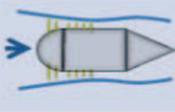
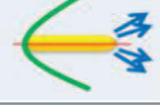
Régimen de Velocidad	Flujo Típico (Modelo)	Sección de Entrada	Radio de Compresión	Motor o sistemas de motor
Subsónico (M= 0 - 0.7)			1.0+	
Transónico (M= 0.7 - 1.2)			1.1	
Supersónico (M= 1.2 - 5)			2 (M = 2)	
Hipersónico (M > 5)			20 (M = 5)	

Figura 2.5. Tipo de túneles aerodinámicos por la velocidad

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/T%C3%BAnel_de_viento#Historia_de_los_t.C3.BAneles_de_viento

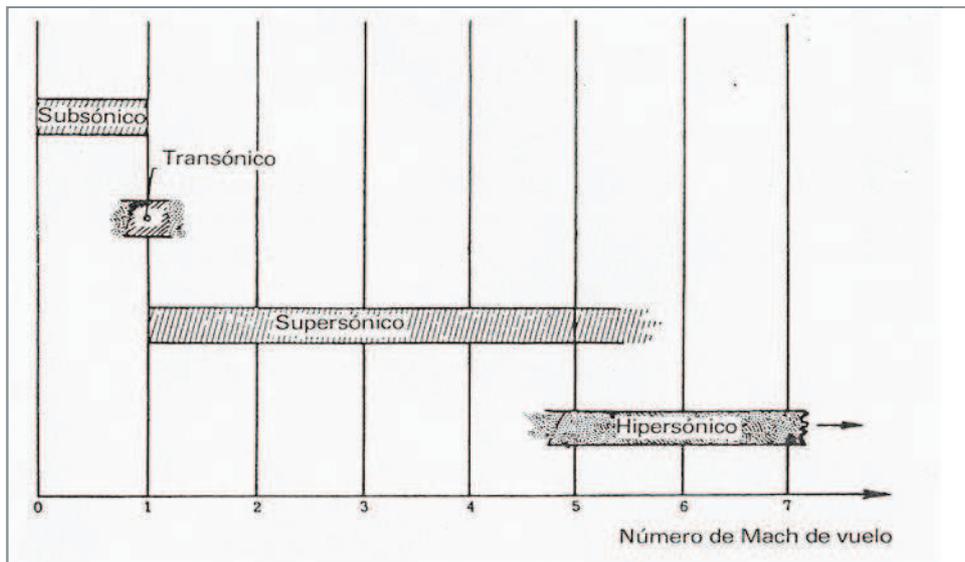


Figura 2.6. Clasificación y regímenes de vuelo

Fuente: Oñate E, Tecnología Aeronáutica – Aerodinámica Práctica, Editorial Paraninfo, P. 182

2.1.4 Partes del túnel de viento

Un túnel de viento consta de 5 componentes principales, los cuales cada uno de ellos tienen su nombre, concepto, propósito y forma. “El diseño total crea la alta velocidad, circulación de aire de la bajo-turbulencia a través de la sección de la prueba y permite que los investigadores midan las fuerzas que resultan en el modelo que es probado.

2.1.4.1 Compartimiento que acomoda

El propósito del compartimiento que acomoda es enderezar la circulación de aire, la estructura del panel de un compartimiento que acomoda es muy eficaz en la reducción de corrientes que remolinan en la circulación de aire del túnel.

2.1.4.2 Cono de contracción

El cono de contracción toma un volumen grande de aire de baja velocidad y lo reduce a un volumen pequeño de aire de alta velocidad sin crear turbulencia.

2.1.4.3 Sección de prueba

Los modelos de alas o de planos se ponen en la sección de la prueba. Mientras que la circulación de aire se trae a la velocidad deseada”⁴

Dentro de la sección de prueba se coloca el avión a escala con el fin de observar como mediante la aplicación de micro servos y el aire que fluye alrededor del mismo permite que el avión realice cada uno de sus movimientos.

Esta sección tiene que ser diseñada en vidrio o acrílico transparente con el fin de observar el objeto de prueba como se desempeña dentro del túnel.

⁴<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/flujodegases/tuneldeviento/tuneldeviento.html>

2.1.4.4 Difusor

“El difusor retarda la velocidad de la circulación de aire en el túnel de viento.

2.1.4.5 Sección del mecanismo impulsor

La sección del mecanismo impulsor proporciona la fuerza que hace al aire moverse a través del túnel de viento. Los túneles de viento pueden ser abiertos o a circuito cerrado.”⁵

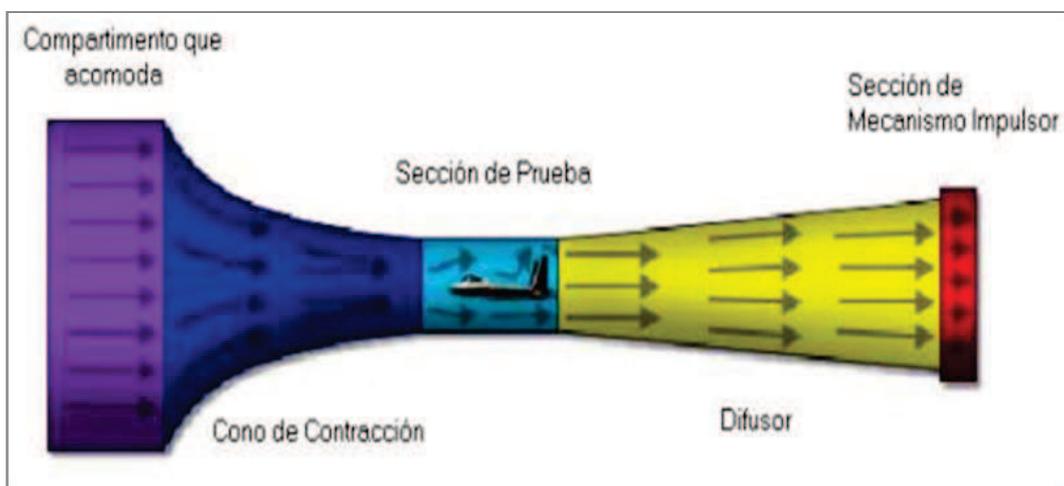


Figura 2.7.Partes del túnel de viento

Fuente:<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/flujodegases/tuneldeviento/tuneldeviento.html>

2.2 Mandos de vuelo y superficies de control del avión

2.2.1 Mandos de vuelo

2.2.1.1 Concepto

Los mandos de vuelo son superficies aerodinámicas que se localizan alrededor de las alas y en la sección de cola de la aeronave “Todos los conjuntos funcionan según el mismo principio. Es la modificación de la fuerza aerodinámica que

⁵<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/flujodegases/tuneldeviento/tuneldeviento.html>

produce las superficies de control, cuando se giran un cierto ángulo en el viento relativo.



Figura 2.8. Mandos de vuelo

Fuente: <http://losavionescomerciales.blogspot.com/2009/09/controles-primarios-de-vuelo.html>

2.2.1.2 Clasificación

De acuerdo con su función, los mandos de vuelo se clasifican en dos grandes grupos: primarios y secundarios.

2.2.1.2.1 Mandos de vuelo primarios

Ejecutan las acciones básicas de control del avión; Cuenta con dos elementos de actuación principales, el volante de mando (o palanca de mando) y los pedales, en el sistema básico el piloto está unido a las superficies de control de forma directa.”⁶

⁶ Oñate E. Conocimientos del Avión, 6 ° Edición, Pp 689, 690, 694

2.2.1.2.1.1 Palanca de mando (Sidesticks)

Es aquel dispositivo que permite controlar el movimiento de los alerones y elevadores.

2.2.1.2.1.2 Pedales

Son aquellos elementos de actuación que permite el movimiento del rudder y se encuentran por debajo de la palanca de mando.

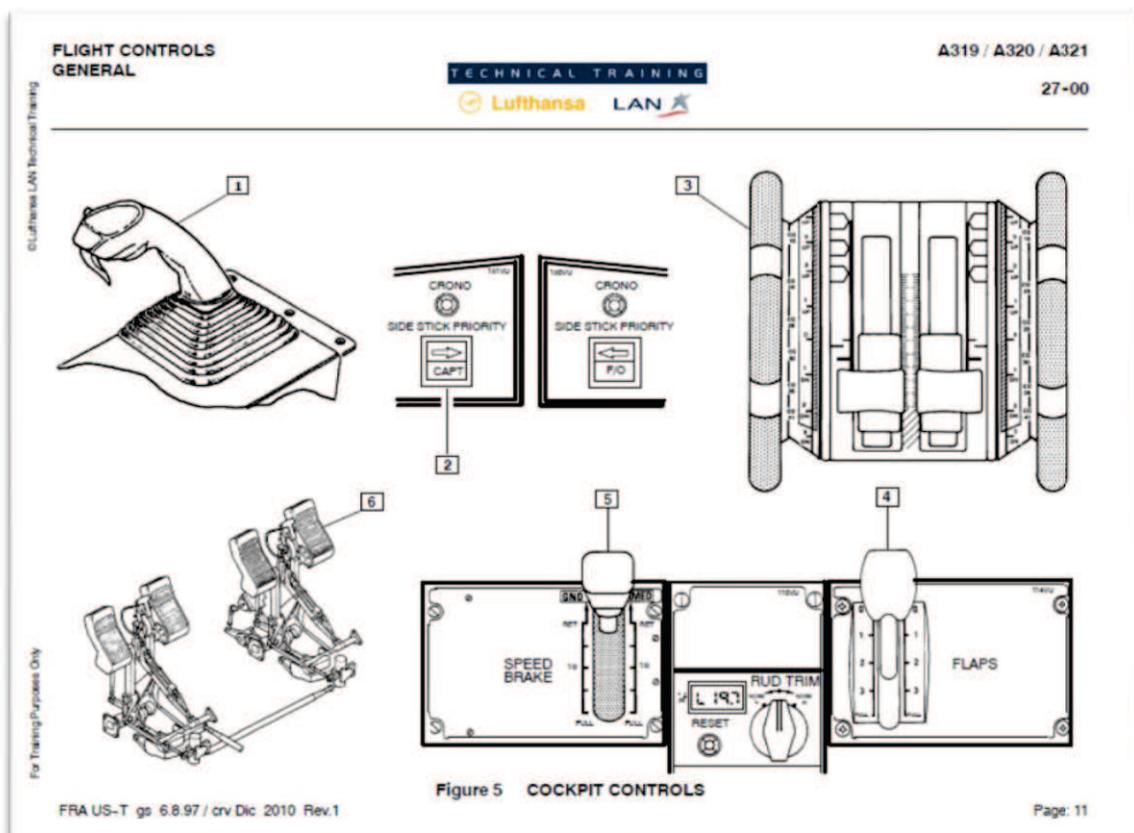


Figura 2.9. Elementos de actuación

Fuente: Training Manual AIRBUS A320 – ATA 27 Pág. 11

2.2.1.2.1.3 Tipos de mandos de vuelo primarios

➤ Alerones

“Se encuentran situados en el borde trasero de ambas alas, cerca de las puntas, su función es inclinar el avión en torno a su eje longitudinal “X”, con el fin de levantar un ala más que la otra, sobre todo al hacer un giro para cambiar la dirección. Esta inclinación la ejecuta el piloto haciendo girar el timón o la palanca hacia la derecha o la izquierda, según se quiera inclinar las alas en un sentido o en otro. Los alerones se mueven en sentido opuesto, es decir, cuando uno sube el otro baja.

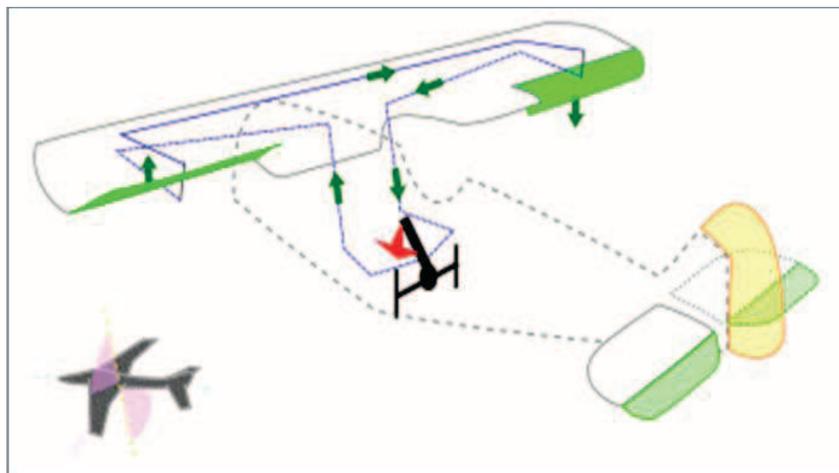


Figura 2.10. Funcionamiento de los alerones

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Mandos_de_vuelo

➤ Timón de profundidad o elevadores

Son superficies flexibles ubicadas en la parte trasera de los estabilizadores horizontales de la cola. La función de los elevadores es hacer rotar el avión en torno a su eje lateral “Y”, permitiendo el despegue y el aterrizaje, así como ascender y descender una vez que se encuentra en el aire. Los dos elevadores se mueven simultáneamente hacia arriba o hacia abajo cuando el piloto mueve el timón, o en su lugar la palanca o bastón, hacia atrás o hacia delante.

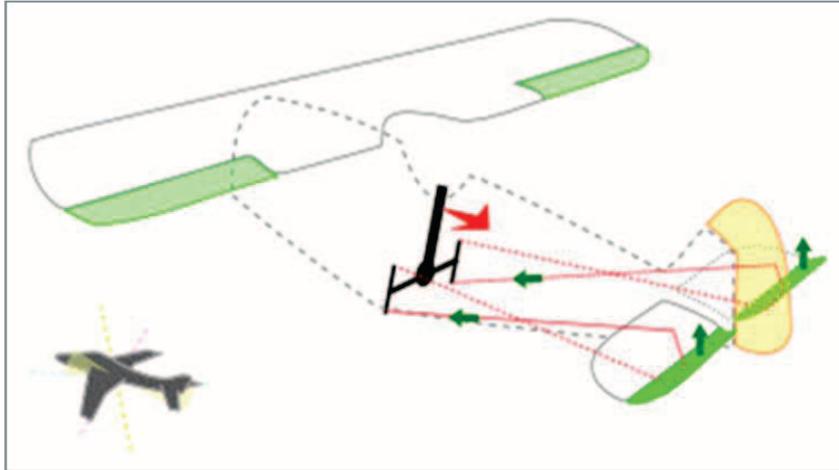


Figura 2.11. Funcionamiento del timón de los elevadores

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Mandos_de_vuelo

➤ **Timón de dirección o rudder**

Esta superficie flexible situada detrás del estabilizador vertical de la cola sirve para mantener o variar la dirección o rumbo trazado. Su movimiento hacia los lados hace girar al avión sobre su eje vertical “Z”. Ese movimiento lo realiza el piloto oprimiendo la parte inferior de uno u otro pedal, según se desee cambiar el rumbo a la derecha o la izquierda.”⁷

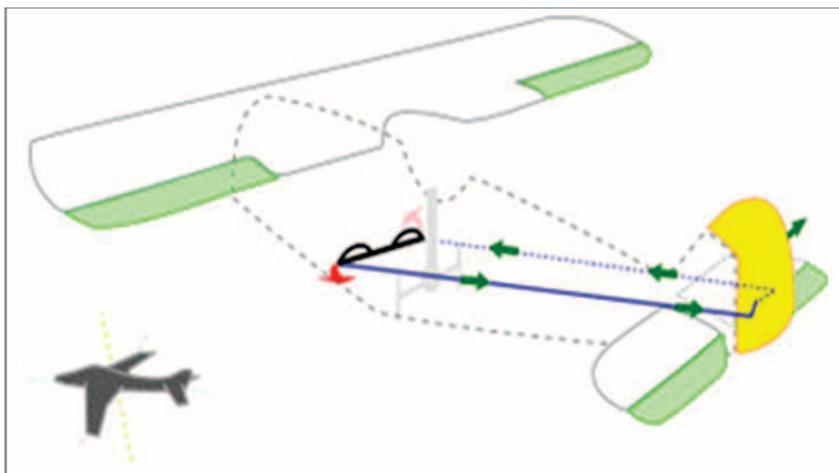


Figura 2.12. Funcionamiento del rudder

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Mandos_de_vuelo

⁷ http://www.asifunciona.com/aviacion/af_avion/af_avion12.htm

2.2.1.2.2 Mandos de vuelo secundarios

Son sistemas que cumplen con funciones adicionales para aumentar la sustentación en un perfil alar y estos son los flaps, slats, aletas compensadoras y además los spoilers, estos son mecanismos que permiten reducir la velocidad cuando un avión desee frenar en la pista después de un vuelo.

2.2.1.2.2.1 Slats

“El slat es una aleta situada sobre el borde de ataque del ala. En operación, permite la formación de una ranura o abertura entre la aleta y el ala, de manera que el aire puede pasar a su través. Los slats pueden ser de tres tipos:

➤ Los Slats fijos

Como su nombre indica, son unas aletas auxiliares que se sitúan a cierta distancia del borde de ataque. El slat fijo tiene un inconveniente, que podemos calificar de serio: puesto que el slat está siempre en posición extendida, resulta que cuando el avión vuela a la velocidad de crucero presenta una resistencia al alcance excesiva.

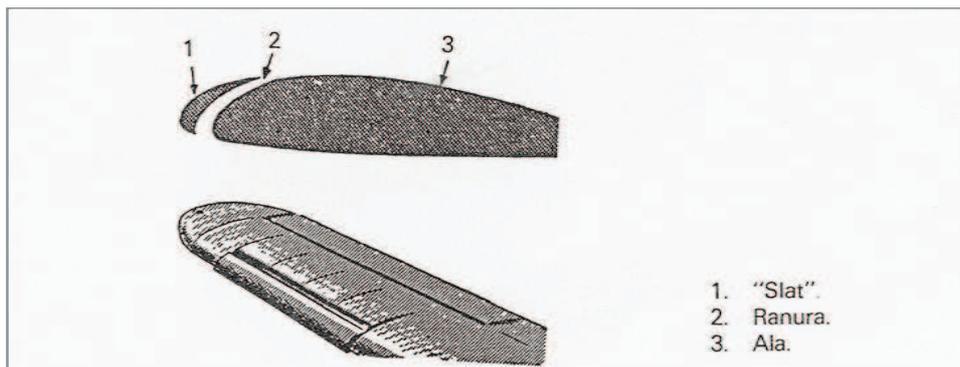


Figura 2.13. Slat fijo

Fuente: Oñate E, Tecnología Aeronáutica – Aerodinámica Práctica, Editorial Paraninfo, P. 134

➤ **Los Slats automáticos**

Funcionan de modo ingenioso. Estas aletas se extienden delante del ala cuando la succión que se origina en el borde de ataque alcanza un valor determinado. Los slats están calculados para que se extiendan cuando el ángulo de ataque se aproxima al valor crítico, a la pérdida.

➤ **Los Slats controlables**

Permiten la extensión manual de los slats normalmente por medio de un husillo que despliega las aletas.”⁸

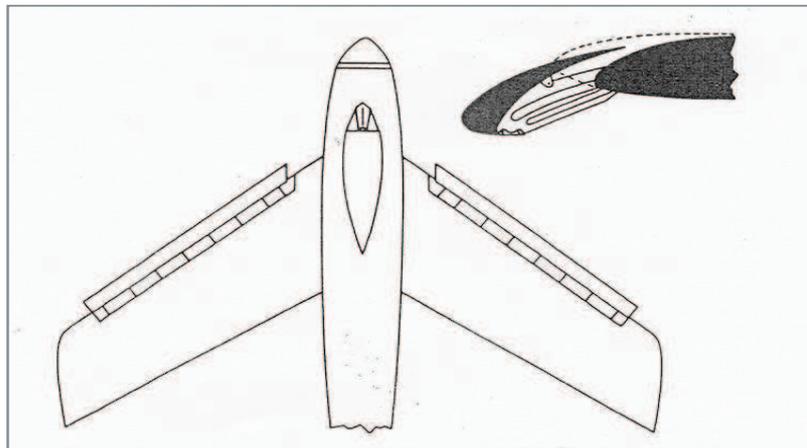


Figura 2.14. Esquema de un “slat” controlable por el piloto

Fuente: Oñate E, Tecnología Aeronáutica – Aerodinámica Práctica, Editorial Paraninfo, P. 133

2.2.1.2.2.2 Flaps

“Los flaps están constituidos por aletas aerodinámicas que se extienden o despliegan en el borde de salida y/o borde de ataque del ala, durante el vuelo a baja velocidad.

⁸ Oñate E, Tecnología Aeronáutica – Aerodinámica Práctica, Editorial Paraninfo, Pp 132 - 135

Los flaps incrementan la sustentación mediante dos procedimientos, que pueden estar presentes a la vez en un mismo tipo de flap mediante el aumento de la curvatura del ala y el aumento de la superficie alar.

Los flaps pueden ser de borde de salida y de borde de ataque.

➤ **Flaps de borde de salida**

Se denomina así porque están situados en el borde de salida del ala. Estos son los más comunes y son los siguientes:

- **Flap Simple:** Es un flap plano de amplio empleo en la aviación general.
- **Flap de Intradós:** Es similar al flaps simple en cuanto a capacidad de sustentación. La particularidad del flap de intradós es que únicamente se mueve la parte inferior del flaps.

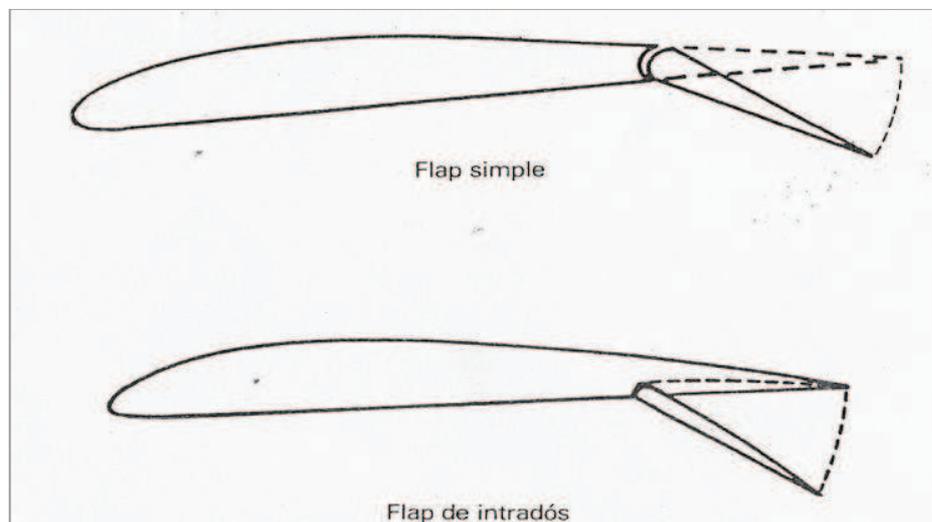


Figura 2.15. Flap simple y flap de intradós

Fuente: Oñate E, Tecnología Aeronáutica – Aerodinámica Práctica, Editorial Paraninfo, P. 137

- **Flap Ranurado:** Es un flap simple que tiene una ranura entre el ala y el flap, la función de la ranura es permitir que el aire de la parte inferior del ala pase a la parte superior del flap con el fin de estabilizar la capa límite de aire en dicha zona.

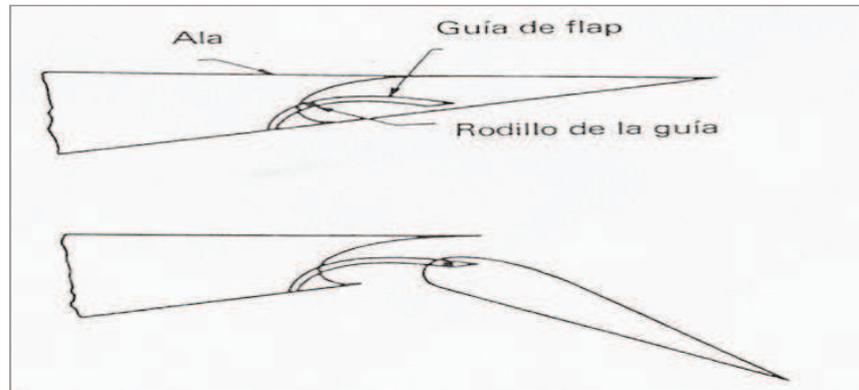


Figura 2.16. Flap ranurado de borde de salida, en posición normal y baja
Fuente: Oñate E, Tecnología Aeronáutica – Aerodinámica Práctica, Editorial Paraninfo, P. 138

- **Flap Fowler:** Se asemejan a los flaps ranurados, pero la aleta está diseñada de manera que puede extenderse hacia atrás, bien sobre articulaciones o a través de guías y carriles que permiten el desplazamiento.

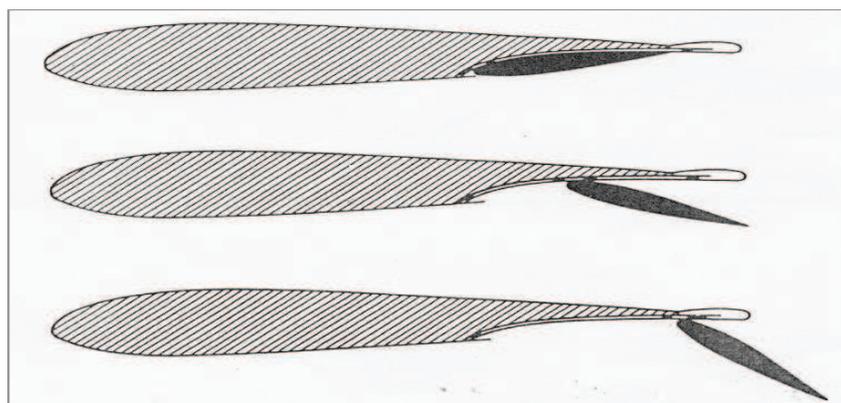


Figura 2.17 Operación de un flap fowler
Fuente: Oñate E, Tecnología Aeronáutica – Aerodinámica Práctica, Editorial Paraninfo, P. 139

➤ **Flap de borde de ataque**

Se denomina así porque están situados en el borde de ataque del ala. Los tipos más importantes son los siguientes:

- **Flap simple de borde de ataque:** Consisten en una aleta articulada en el borde de ataque del ala, que se despliega hacia abajo para aumentar la curvatura.

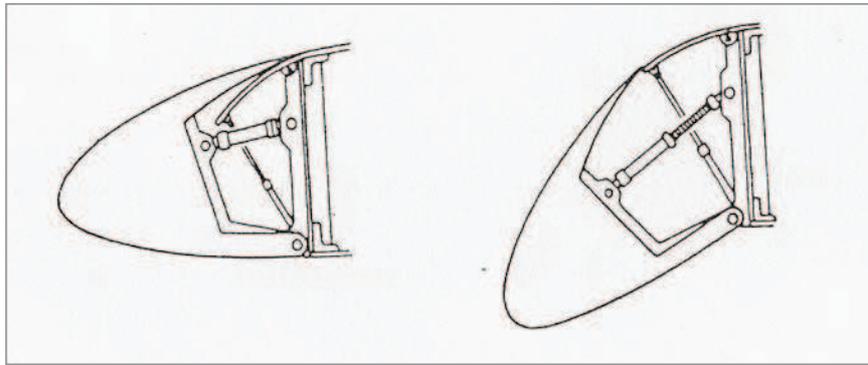


Figura 2.18. Flap de borde de ataque

Fuente: Oñate E, Tecnología Aeronáutica – Aerodinámica Práctica, Ed Paraninfo, P. 140

- **Flap Kruger:** Es un flap que aumenta la curvatura del borde de ataque pero, notoriamente, aumenta la resistencia aerodinámica del ala. La gran ventaja del flap kruger es que pesa menos que los Slats.”⁹

⁹ Oñate E, Tecnología Aeronáutica – Aerodinámica Práctica, Ed Paraninfo, Pp. 136 - 140

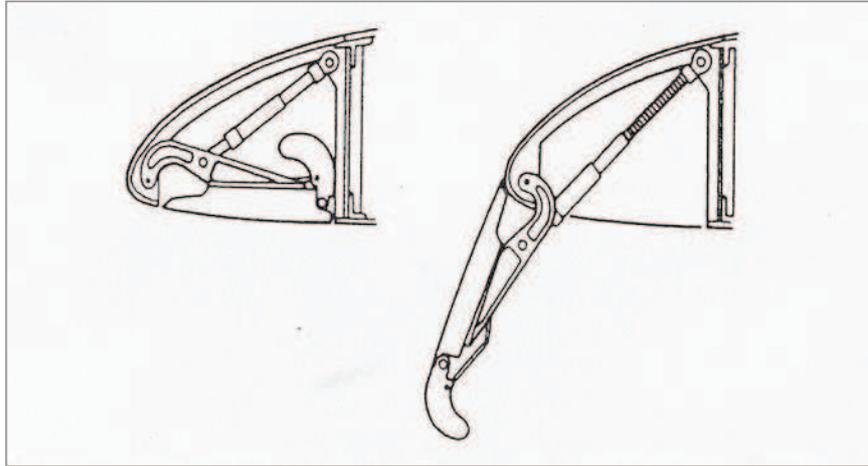


Figura 2.19. Flap Kruger

Fuente: Oñate E, Tecnología Aeronáutica – Aerodinámica Práctica, Editorial Paraninfo, P. 140

2.2.1.2.2.3 Aletas compensadoras

“Para evitar la continua acción del piloto sobre los mandos, se usan unas ruedas o compensadores de profundidad, alabeo y dirección. Estas ruedas controlan unas superficies aerodinámicas de pequeño tamaño llamadas compensadores o aletas compensadoras, que se mueven en sentido contrario al de la superficie de mando principal en la que se encuentran montadas, manteniéndola a la misma posición deseada.”¹⁰

2.2.1.2.2.4 Spoilers

“Son superficies aerodinámicas situadas en el extradós del ala, delante de los flaps. Su posición es de plegadas, formando parte del contorno aerodinámico del ala. Un sistema de accionamiento hidráulico permite su despliegue y exposición al viento relativo. Los spoilers están situados normalmente detrás del punto de máximo espesor del ala”¹¹

¹⁰http://www.oni.escuelas.edu.ar/2003/buenos_aires/62/tecnolog/mandos.htm

¹¹Oñate E. Conocimientos del Avión, 6º Edición, P 727

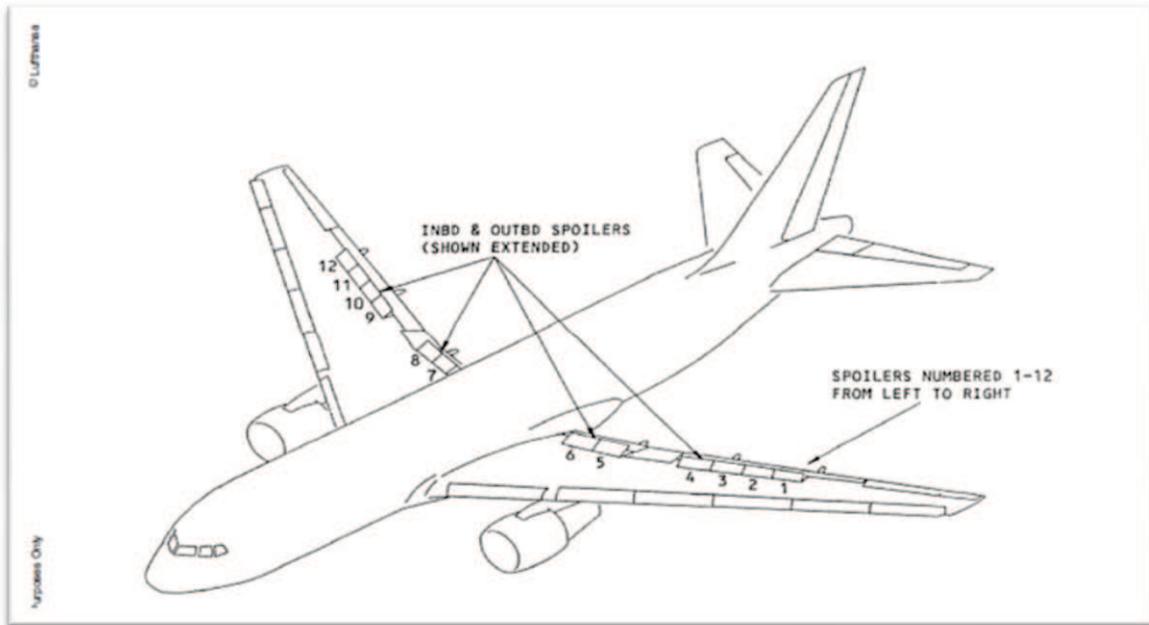


Figura 2.20. Spoilers

Fuente: Training Manual Boeing 767 – ATA 27 Pág. 97

2.2.2 Superficies de control

“Las superficies de control del avión son las superficies aerodinámicas que se emplean para controlar la aeronave. Estas superficies móviles, al exponerse al viento, proporcionan fuerzas que sirven para controlar la aeronave.”¹²

2.2.2.1 Centro de gravedad

“El centro de gravedad (CG) es el punto en que el avión quedaría en equilibrio perfecto si estuviera suspendido de un cable. El CG es también el punto de intersección de los ejes longitudinal, lateral y vertical, y el punto en que se supone que actúan las cuatro fuerzas fundamentales del vuelo: sustentación, peso, resistencia y empuje.”¹³

¹² Oñate E, Tecnología Aeronáutica – Aerodinámica Práctica, Ed Paraninfo, P. 77

¹³ http://www.hangar57.com/cg_centro_de_gravedad.html



Figura 2.21. Centro de gravedad

Fuente: <http://www.manualvuelo.com/PBV/PBV13.html>

2.2.2.2 Ejes del avión

“Los desplazamientos angulares se producen alrededor de tres ejes imaginarios del avión. El origen o punto de donde salen los ejes recibe un nombre especial, el punto de coincidencia se llama centro de gravedad.”¹⁴

2.2.2.2.1 Eje x o longitudinal

El eje longitudinal es el eje imaginario del avión que se extiende en dirección cola-morro.

2.2.2.2.2 Eje y o lateral

El eje lateral o transversal es el eje imaginario del avión que se extiende desde las puntas de las alas.

2.2.2.2.3 Eje z o vertical

El eje vertical es el eje imaginario que pasa a través del centro de gravedad del avión y este eje es perpendicular a los ejes longitudinal y lateral.

¹⁴ Oñate E, Tecnología Aeronáutica – Aerodinámica Práctica, Ed Paraninfo, P. 77

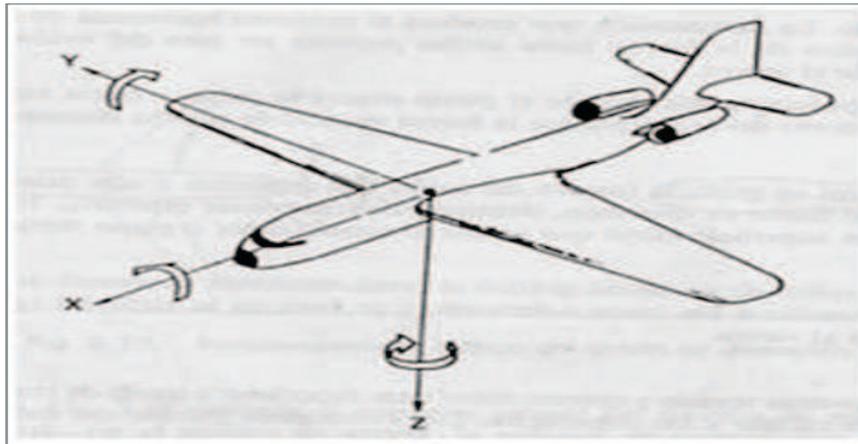


Figura 2.22. Ejes del avión

Fuente: Oñate E, Tecnología Aeronáutica – Aerodinámica Práctica, Editorial Paraninfo, P. 76

2.2.2.3 Desplazamientos del avión

Toda aeronave posee las superficies de control (alergones, elevadores y rudder) y sus respectivos elementos de actuación (palanca de mando y pedales). Cuando estos se operan permiten que existan diferentes tipos de movimientos como son:

2.2.2.3.1 Alabeo

Es el movimiento o desplazamiento del avión, en donde este gira sobre el eje longitudinal y es accionado por la cabrilla. (Ver Figura 2.23)

2.2.2.3.2 Cabeceo

Es el movimiento o desplazamiento del avión, en donde este gira sobre el eje lateral y es accionado por la cabrilla. (Ver Figura 2.24)

2.2.2.3.3 Guiñada

Es el movimiento o desplazamiento del avión, en donde este gira sobre el eje vertical y es accionado por los pedales. (Ver Figura 2.25)

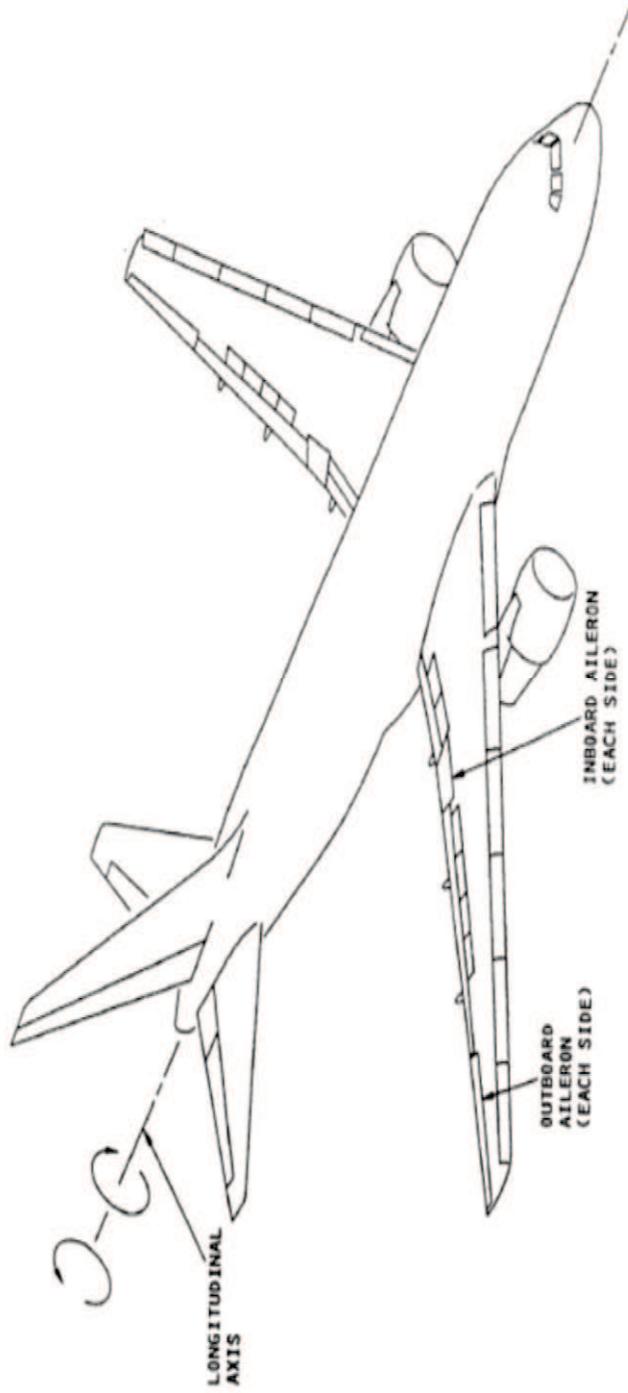


Figure 1 Ailerons - Lateral Control

Figura 2.23. Movimiento de alabeo
Fuente: Training Manual Boeing 767 – ATA 27 Pág. 35

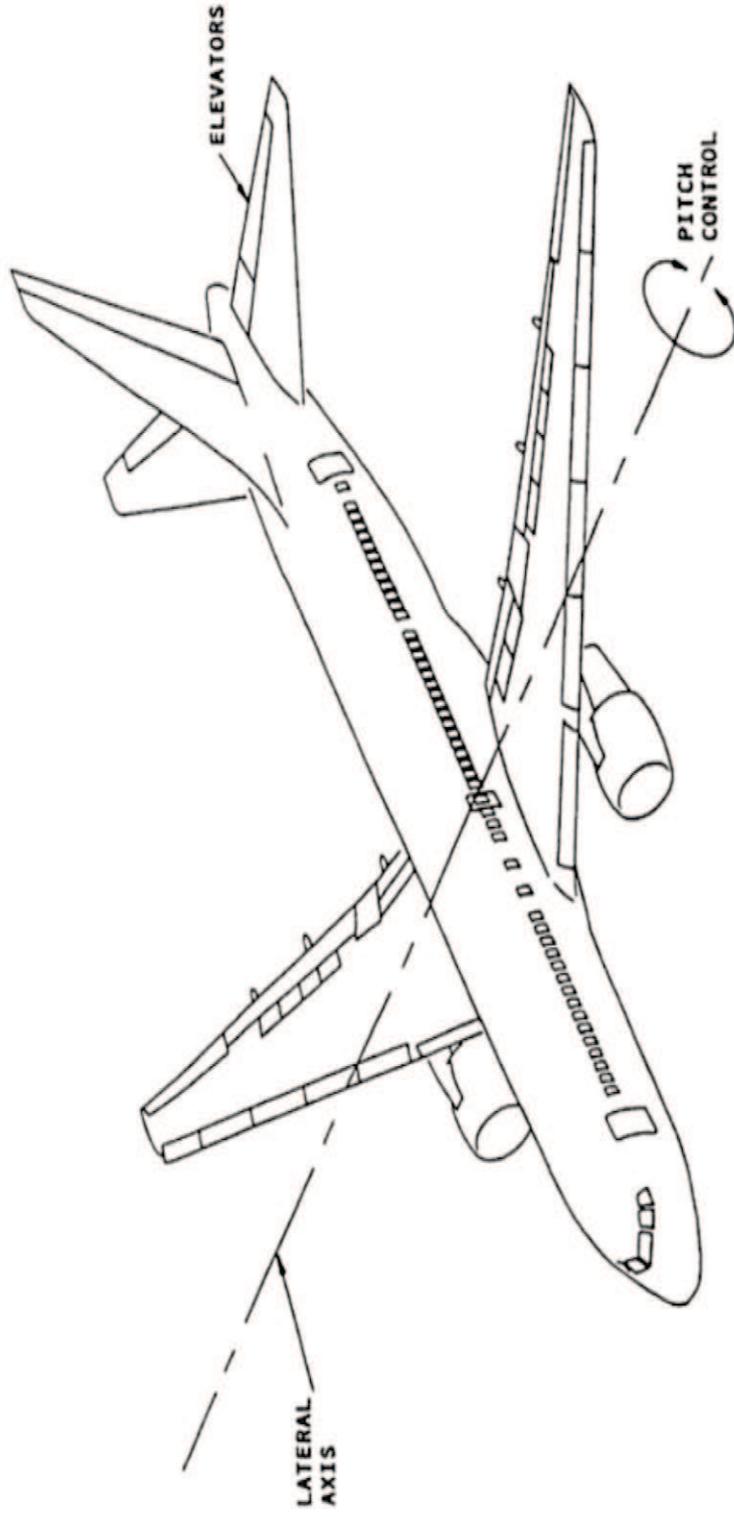


Figure 1 767 Elevator Control System

Figura 2.24. Movimiento de cabeceo
Fuente: Training Manual Boeing 767 – ATA 27 Pág. 409

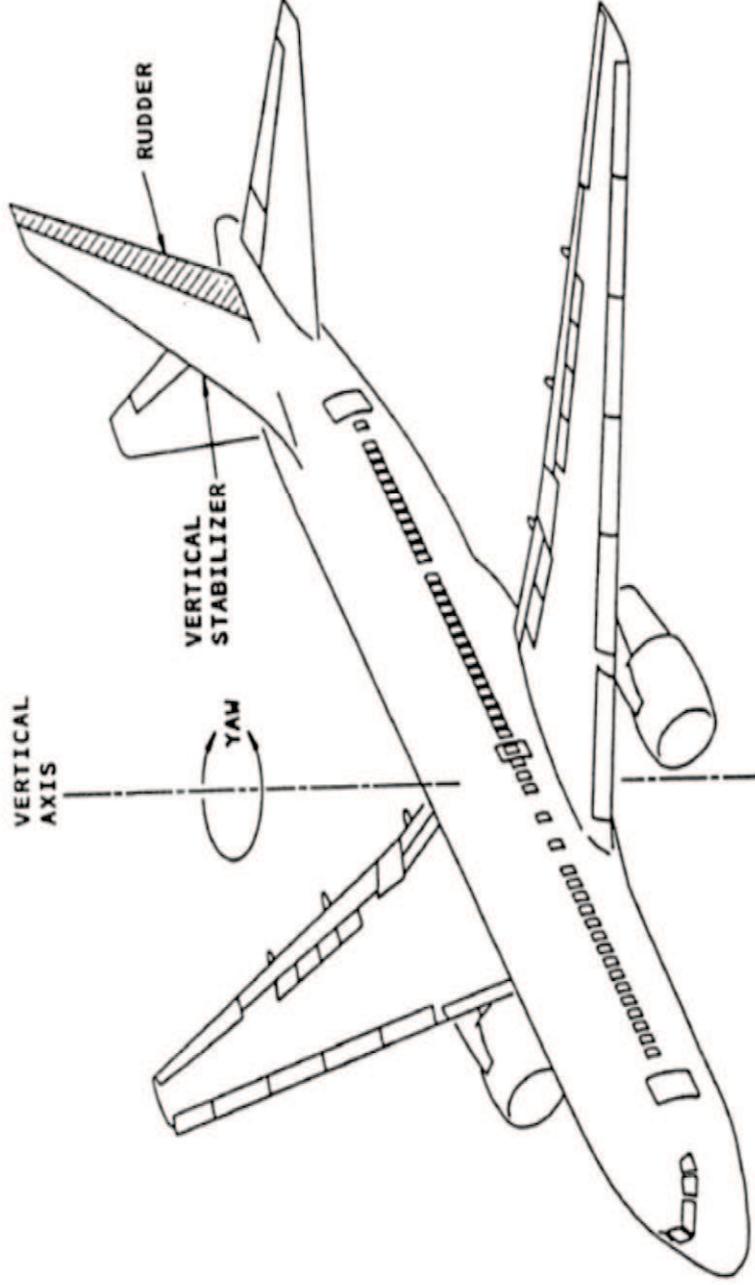


Figure 1 767 Rudder Control System

Figura 2.25. Movimiento de guiñada

Fuente: Training Manual Boeing 767 – ATA 27 Pág. 475

2.3 Aerodinámica

2.3.1 Concepto

“El nombre aerodinámica está relacionado al estudio de la dinámica de los cuerpos que se mueven dentro de fluidos como el propio aire y otros gases, siendo una rama importante de la mecánica de los fluidos. Como ejemplos de aplicaciones de la aerodinámica, podemos citar la creación del cuerpo de los aviones, formato de proyectiles, entre otros.”¹⁵

2.3.2 Flujo de aire aerodinámico

2.3.2.1 Flujo laminar

“Se caracteriza porque el movimiento de las partículas del fluido se produce siguiendo trayectorias bastante regulares, separadas y perfectamente definidas dando la impresión de que se tratara de laminas o capas mas o menos paralelas entre sí, las cuales se deslizan suavemente unas sobre otras, sin que exista mezcla macroscópica o intercambio transversal entre ellas.

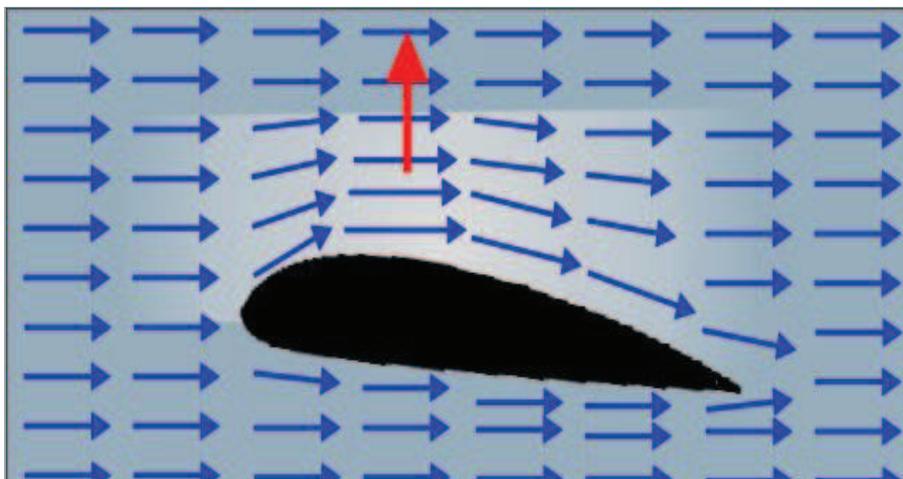


Figura 2.26. Flujo laminar en un perfil alar

Fuente: <http://www.lapizarradeyuri.com/2010/12/16/asi-vuela-un-avion/>

¹⁵<http://fisica.laguia2000.com/fisica-mecanica/conceptos-de-aerodinamica>

2.3.2.2 Flujo turbulento

“En este tipo de flujo las partículas del fluido se mueven en trayectorias erráticas, es decir, en trayectorias muy irregulares sin seguir un orden establecido, ocasionando la transferencia de cantidad de movimiento de una porción de fluido a otra, de modo similar a la transferencia de cantidad de movimiento molecular pero a una escala mayor.”¹⁶

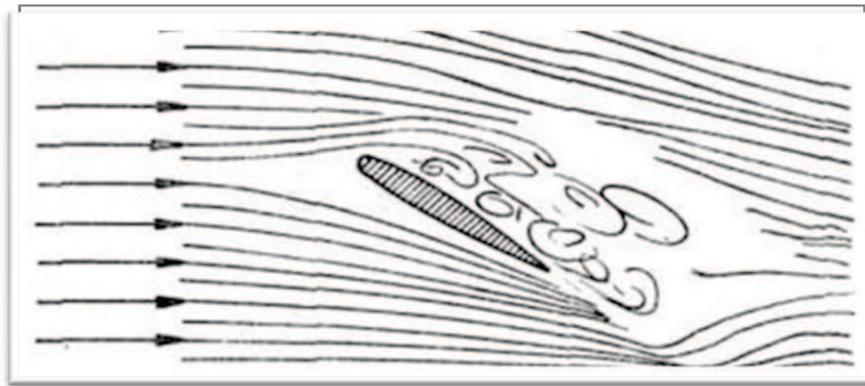


Figura 2.27. Flujo turbulento en un perfil alar

Fuente: http://www.oni.escuelas.edu.ar/2003/buenos_aires/62/tecnolog/porque.htm

2.3.3 Fuerzas presentes en un avión durante el vuelo

2.3.3.1 Concepto

Durante un vuelo, el avión sufre una “serie de fuerzas, unas favorables y otras desfavorables, siendo una tarea primordial del piloto ejercer control sobre ellas para mantener un vuelo seguro y eficiente.”¹⁷

2.3.3.2 Clasificación

Existen 4 fuerzas sobre un avión durante el vuelo y estas siempre estarán presentes a pesar de las maniobras que el piloto realice y estas son: peso,

¹⁶

<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulosos/conceptosbasicosmfluidos/clasificaciondelflujo/clasificaciondelflujo.html>

¹⁷ <http://www.manualvuelo.com/PBV/PBV13.html>

sustentación, resistencia y empuje o tracción. Para cada una de las fuerzas existirán efectos.

“Estas cuatro fuerzas actúan en pares; la sustentación es opuesta al peso, y el empuje o tracción a la resistencia.



Figura 2.28. Fuerzas presentes durante el vuelo

Fuente: <http://www.manualvuelo.com/PBV/PBV13.html>

2.3.3.2.1 Sustentación

Es la fuerza desarrollada por un perfil aerodinámico moviéndose en el aire, ejercida de abajo hacia arriba, y cuya dirección es perpendicular al viento relativo y a la envergadura del avión (no necesariamente perpendiculares al horizonte).

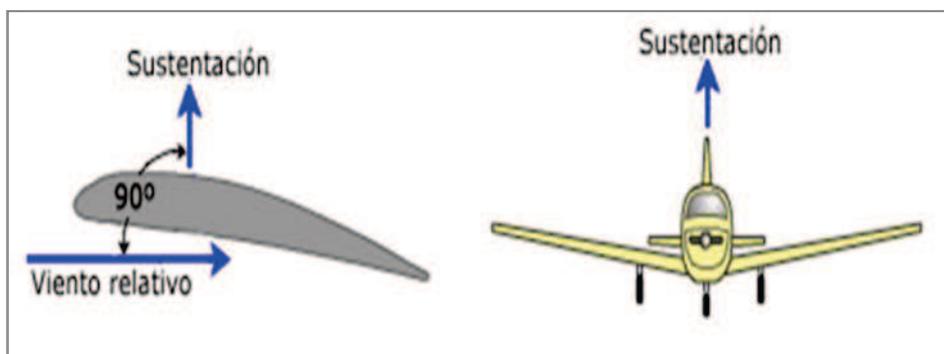


Figura 2.29. Sustentación

Fuente: <http://www.manualvuelo.com/PBV/PBV13.html>

2.3.3.2.2 Peso

El peso es la fuerza de atracción gravitatoria sobre un cuerpo, siendo su dirección perpendicular a la superficie de la tierra, su sentido hacia abajo, y su intensidad proporcional a la masa de dicho cuerpo. Esta fuerza es la que atrae al avión hacia la tierra y a de ser contrarrestada por la fuerza de sustentación para mantener al avión en el aire.

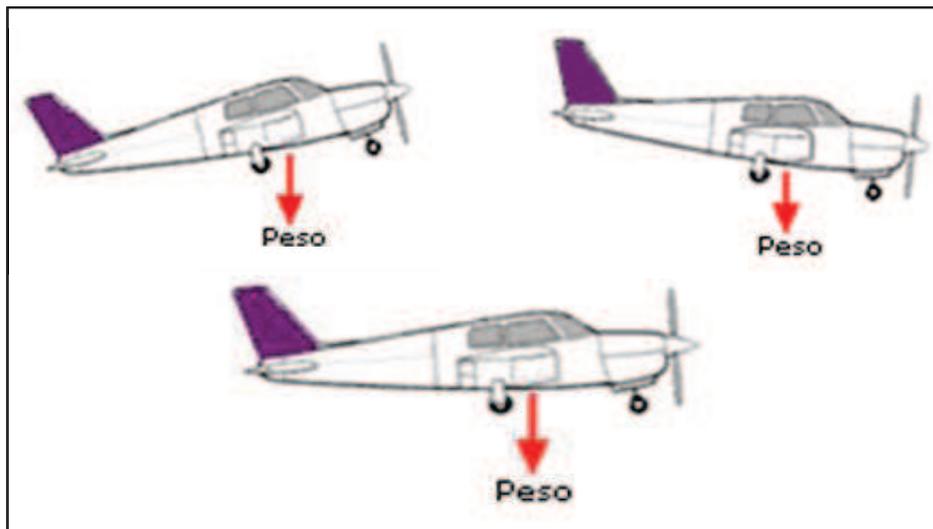


Figura 2.30. Peso

Fuente: <http://www.manualvuelo.com/PBV/PBV13.html>

2.3.3.2.3 Resistencia

La resistencia es la fuerza que impide o retarda el movimiento de un aeroplano. Y actúa de forma paralela y en la misma dirección que el viento relativo, aunque también podríamos afirmar que la resistencia es paralela y de dirección opuesta a la trayectoria.

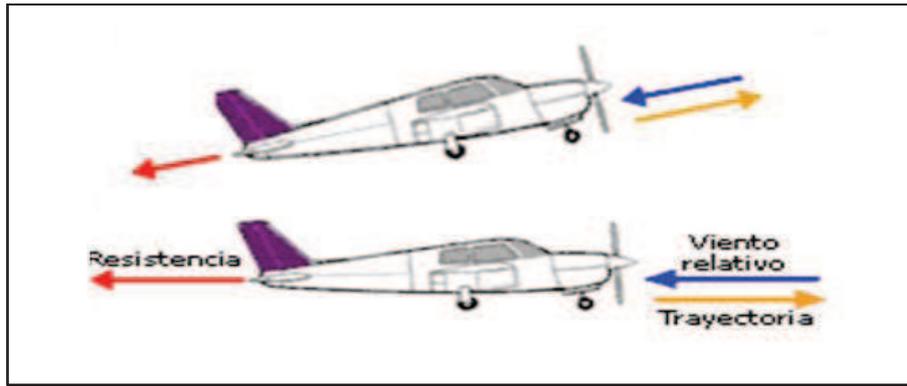


Figura 2.31. Resistencia

Fuente: <http://www.manualvuelo.com/PBV/PBV13.html>

2.3.3.2.4 Empuje o tracción

Para vencer la inercia del avión parado, acelerarlo en la carrera de despegue o en vuelo, mantener una tasa de ascenso adecuada, vencer la resistencia al avance, se necesita una fuerza: el empuje o tracción.

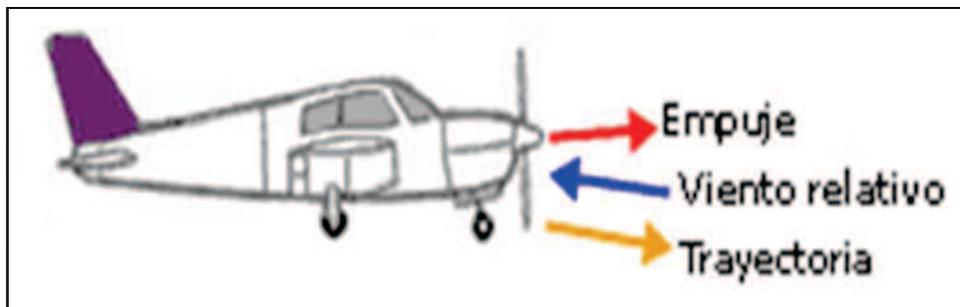


Figura 2.32.Empuje o tracción

Fuente: <http://www.manualvuelo.com/PBV/PBV13.html>

Esta fuerza se obtiene acelerando una masa de aire a una velocidad mayor que la del aeroplano. La reacción, de igual intensidad pero de sentido opuesto (3ª ley del movimiento de Newton), mueve el avión hacia adelante. En aviones de hélice, la fuerza de propulsión la genera la rotación de la hélice, movida por el motor (convencional o turbina); en reactores, la propulsión se logra por la expulsión violenta de los gases quemados por la turbina.

Esta fuerza se ejerce en la misma dirección a la que apunta el eje del sistema propulsor, que suele ser más o menos paralela al eje longitudinal del avión.”¹⁸

2.4 Sistemas funcionales del Kit del Radio Control – Ready to Fly

2.4.1 Micro servos

“Un servomotor es un motor que tiene la característica de realizar movimientos de no más de una vuelta(360 grados), pero de lograr gran torque al (enclavarse) en la posición deseada. Se emplean en trabajos de precisión, y en aplicaciones como el aeromodelismo (para girar un timón, un alerón, etc.)”¹⁹

El Micro servo AS2000 es “diseñado para trabajar en conjunto con el receptor Ultra-Micro de Spektrum AR6400, este servo lineal se conecta a un puerto abierto para expandir las opciones de instalación en el avión Ultra-Micro. Cada servo viene con un inversor de servo lineal (SPM6825)”²⁰

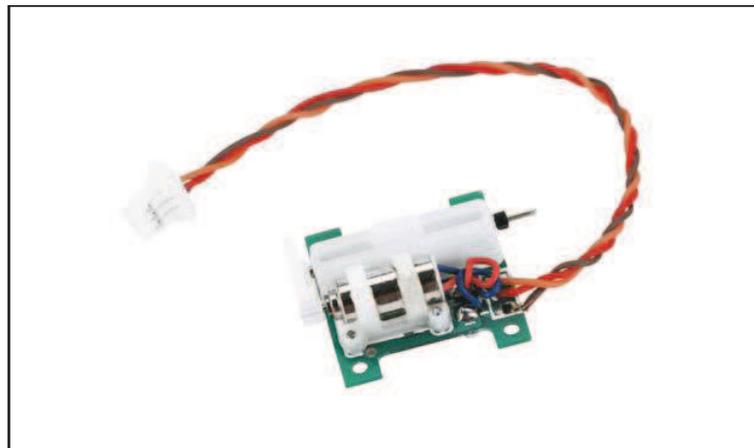


Figura 2.33. Micro servo (AS2000)

Fuente: <http://www.parkzone.com/Products/Default.aspx?ProdID=SPMAS2000>

¹⁸<http://www.manualvuelo.com/PBV/PBV13.html>

¹⁹<http://mx.answers.yahoo.com/question/index?qid=20080220095357AAG88Ep>

²⁰<http://www.parkzone.com/Products/Default.aspx?ProdID=SPMAS2000>

2.4.2 Control transmisor de 4 canales

Permite controlar las superficies de movimiento del avión como son: alerones, elevadores y rudder además puede controlar el empuje (potencia) producido por la hélice del avión. Este se debe a que el control envía señales a los receptores de los micros servos ubicados en cada una de las partes mencionadas anteriormente.



Figura 2.34. Control radio transmisor de 4 canales

Fuente: <http://www.preciolandia.com/mx/avion-ultra-micro-t-28-trojan-rtf-de-par-6repx3-a.html#&panel1-2>

En la siguiente figura se puede observar las funciones de cada una de las partes del control transmisor.

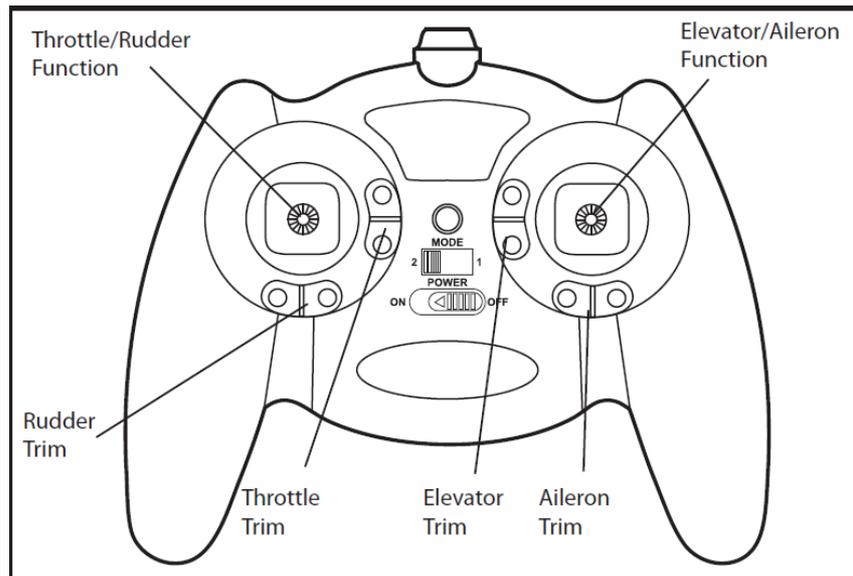


Figura 2.35. Funciones del control

Fuente: Manual de Instrucción Park Zone

2.4.3 Baterías Li-Po y cargador portátil DC

Las baterías Li-Po se puede usar en los aviones de radio control como es el caso del T-28 Trojan y estas pueden ser cargadas y reutilizadas.



Figura 2.36. Batería Li-po

Fuente: <http://www.parkzone.com/Products/Default.aspx?ProdID=EFLB1501S25>

En la siguiente tabla se puede observar las especificaciones técnicas de las baterías Li-po.

Tabla 2.1. Especificaciones batería Li-po

DETALLE	ESPECIFICACIÓN
Tipo Material	Lithium Polymer
Capacidad	150mAh
Voltaje	3.7V
Peso	0,14 oz (4,15 g)
Configuración	1S
Largo	1.47 in (37,5 mm)
Ancho	0.48 in (12,2 mm)
Altura	0.22 in (5,5 mm)
Descarga continua máxima	25C
Corriente continua máxima	3.75 ^a
Tiempo de carga	Aprox. 15 a 20 minutos
Duración en vuelo	Aprox. 10 minutos

Fuente:

<http://www.parkzone.com/Products/Default.aspx?ProdID=EFLB1501S25>

El cargador portátil para baterías Li-po, puede ser usado con 4 pilas AA o con un cargador externo de 6V DC 1.5 Amp max.



Figura 2.37. Cargador Portátil (baterías AA)

Fuente: <http://www.preciolandia.com/mx/avion-ultra-micro-t-28-trojan-rtf-de-par-6repx3-a.html>

2.5 Materiales para la construcción del prototipo

Para la construcción del prototipo a escala en controles de vuelo es indispensable el estudio correspondiente a 2 de los materiales más importantes del mismo, como es:

- El poliestireno expandido - material del avión a escala T-28 Trojan
- El acrílico transparente - material del túnel de viento aerodinámico

2.5.1 Poliestireno Expandido (Espumaflex)

“El Poliestireno Expandido (EPS) se define técnicamente como: “Material plástico celular y rígido fabricado a partir del moldeo de perlas pre-expandidas de poliestireno expandible, que contiene un agente de expansión, presenta una estructura celular cerrada y rellena de aire”. La abreviatura EPS deriva del inglés Expanded PolyStyrene.



Figura 2.38. Poliestireno Expandido (Espumaflex)

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Poliestireno_expandido

Los productos y artículos fabricados en Poliestireno Expandido se caracterizan por ser extraordinariamente ligeros aunque muy resistentes. De acuerdo a la aplicación se fabrica en densidades que van desde 10 kg/m³ hasta 35 kg/m³.²¹

²¹ <http://novaworldsa.com/poliestireno.html>

2.5.2 Acrílico transparente

“El Acrílico es el polímero de metil metacrilato, PMMA. Es un Termoplástico rígido excepcionalmente transparente. En su estado natural es incoloro pero se puede pigmentar para obtener una infinidad de colores. También se puede dejar sin pigmento para producir una lámina completamente transparente.

El PMMA normalmente se produce con un agente absorbedor de luz ultravioleta para proteger tanto la pigmentación del propio PMMA como objetos que pudieran recibir luz a través de él.

La densidad del PMMA es del orden de 1190 kg/m^3 , es decir 1.19 gms/cm^3 . Esto es algo menos de la mitad de la densidad del vidrio, la cual cae dentro del rango de 2400 to 2800 kg/m^3 . La resistencia al impacto del acrílico estándar es del orden de 15 veces mayor que la del vidrio no templado “²²



Figura 2.38. Acrílico Transparente

Fuente: <http://www.revestimientos.ws/acrilico/laminas-de-acrilico.html>

²² <http://www.acrilico-y-policarbonato.com/acrilico.html>

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.1 Preliminares

La infraestructura de los laboratorios del Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico son de gran calidad y de suma importancia para el aprendizaje de los estudiantes del Instituto. Dentro de ellos se pueden observar herramientas y maquinaria de trabajo, maquetas de proyectos de estudiantes graduados y además se pueden observar bancos de pruebas para diferentes componentes de la aeronave.

Con el trascurso del tiempo, los laboratorios necesitan desarrollar nuevos proyectos con el fin de mejorar la educación en el Instituto. Por tal motivo, el proyecto **“CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO A ESCALA EN CONTROLES DE VUELO PARA EL APRENDIZAJE DE LOS ESTUDIANTES DE MECÁNICA AERONÁUTICA”** permitirá al estudiante poseer una fuente de información tanto escrita como práctica para su estudio y además mejorará su comprensión al observar cómo se lo opera y así aclarar dudas o problemas.

Los contenidos del prototipo a escala se basaron en los temas anteriormente mencionados, en donde estos solo fueron fuentes de ayuda para la elaboración de la investigación respectiva tanto en libros como manuales e información del internet.

3.2 Estudio de alternativas

Para la elaboración del prototipo a escala en controles en vuelo se han tomado en cuenta algunas alternativas para la realización del estudio técnico correspondiente, el mismo que permitirá seleccionar la mejor alternativa para su construcción.

Se han tomado en cuenta 2 alternativas tanto para el túnel de viento como para el modelo estacionario (avión a escala), ambos serán analizados de una forma técnica.

3.2.1 Descripción de alternativas

3.2.1.1 Alternativas para el túnel de viento

3.2.1.1.1 Primera alternativa

La primera alternativa se basa en la construcción de un túnel de viento de ciclo abierto, en donde el aire ingresa por el compartimiento que acomoda y circula por las diferentes partes del mismo como es el cono de contracción, la sección de prueba, el difusor y por la sección del mecanismo impulsor. Finalmente el aire vuelve a salir al exterior del mismo. (Ver Figura 2.4)

3.2.1.1.2 Segunda alternativa

La segunda alternativa es un túnel de viento de ciclo cerrado, en donde el aire recircula de una forma continúa por todo el túnel ya que el ducto de salida del aire se encuentra conectado a la entrada del mismo. Además el túnel de viento de ciclo cerrado evita pérdidas de aire y mantiene constante las variables termodinámicas del aire. (Ver Figura 2.3)

3.2.1.2 Alternativas para el avión a escala

3.2.1.2.1 Primera alternativa

La primera alternativa para el modelo estacionario es de un material plástico espumado conocido como poliestireno expandido (espuma flex). El avión posee servos para sus superficies de control como son alerones, elevadores, rudder y además posee un motor eléctrico que permite mover la hélice del avión y generar su propio empuje, todo es controlado por un control transmisor de 4 canales.



Figura 3.1. Avión a escala de poliestireno expandido

Fuente: <http://www.parkzone.com/Products/Default.aspx?ProdID=PKZU1580>

3.2.1.2.2 Segunda alternativa

La segunda alternativa es un avión basado a planos reales de los aviones comerciales reducidos a una escala adecuada y construidos a base de resina epóxica, comúnmente se los vende como aviones de colección.

Cada avión a escala posee logotipos o stickers de las compañías comerciales, acabados a mano de cada uno de los detalles de la aeronave, pintura de poliuretano al horno y además se encuentra en un soporte.



Figura 3.2. Avión a escala de resina epóxica

Fuente: [http://www.hbdflymodel.com/productos/nor_a_320_tame_\[18185837\].jpg](http://www.hbdflymodel.com/productos/nor_a_320_tame_[18185837].jpg)

3.2.2 Análisis de factibilidad

Para el análisis correcto se procederá a revisar las ventajas y desventajas de cada una de las alternativas enunciadas anteriormente.

3.2.2.1 Alternativas para el túnel de viento

3.2.2.1.1 Primera alternativa – túnel de viento de ciclo abierto

➤ Ventajas

- Mayor facilidad en su construcción
- Menor costos de elaboración
- Mejor visualización del flujo de aire
- Es fácil de operar
- Menor dimensión (tamaño)
- Menor dificultad al dar mantenimiento

➤ Desventajas

- El flujo de aire es menos controlado
- Mayor pérdidas de flujo de aire
- Alto nivel de ruido

3.2.2.1.2 Segunda alternativa – túnel de viento de ciclo cerrado

➤ Ventajas

- Controla las variables termodinámicas del aire
- Posee menor pérdidas del flujo de aire
- Menor nivel de ruido

➤ Desventajas

- Construcción muy complicada
- Mayor costos de construcción
- Alta dificultad en su mantenimiento
- Complejidad de operación
- Menor nivel de visualización del flujo de aire
- Mayor dimensión (tamaño)
- Mayor número de partes del túnel de viento

3.2.2.2 Alternativas para el modelo estacionario

3.2.2.2.1 Primera alternativa – avión de poliestireno expandido

➤ Ventajas

- Menor peso, más liviano
- Posee micro servos que permiten mover las superficies de control
- Es controlado por un radio control inalámbrico
- Posee un motor eléctrico para la hélice
- Mejor visualización de los movimientos de las superficies de control y de los giros del avión
- Es más flexible, poca probabilidad de romperse
- Fácil de operar el radio control
- Es más interactivo por su operación
- Fácil al dar mantenimiento

➤ **Desventajas**

- Las baterías duran de 6 a 10 minutos
- Necesitan baterías para el avión y el radio control
- Es muy delicado ya que posee sistemas internos
- Mayor costo para su adquisición

3.2.2.2.2 Segunda alternativa – avión a escala de resina epóxica

➤ **Ventajas**

- Representa aviones comerciales de la vida real
- No posee circuitos o sistemas internos que puedan dañarse
- Es más económico
- Menor nivel de ruido

➤ **Desventajas**

- Es más pesado
- No posee superficies de control móviles
- Necesita de un sistema adicional para su movimiento
- Muy delicado, fácil de romperse
- Mayor dificultad para instalar el mecanismo de movilidad
- Es menos interactivo por la falta de movimiento en sus superficies
- En caso de algún daño externo o interno, difícil de dar mantenimiento.

En la siguiente tabla mediante el uso de una escala de evaluación ($1 \leq x \leq 10$) se precedió a analizar cada uno de los parámetros de evaluación de las ventajas y desventajas de las alternativas anteriormente mencionadas con el fin de seleccionar la mejor alternativa para su construcción.

Tabla 3.1 Estudio de los parámetros de evaluación

PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	TÚNEL DE VIENTO		AVIÓN A ESCALA	
	Ciclo Abierto	Ciclo Cerrado	Espuma Flex	Resina Epóxica
Construcción	9	6	10	7
Operación	8	8	9	6
Mantenimiento	9	7	7	8
Mayor Seguridad	6	9	7	9
Rendimiento	8	10	10	6
Costos De Fabricación	8	6	7	8
Menor Tamaño Y Peso	10	7	10	6
Menor Nivel De Ruido	7	9	8	9
Materiales	9	6	10	8
Visualización Operacional	10	9	10	7
Utilidades	8	8	10	8
Fragilidad	8	7	9	8
TOTAL	100	92	107	90
MEJOR ALTERNATIVA %	83,3%	76,7%	89,2%	75,0%

Elaborado por: Xavier Esteban Olalla Viteri

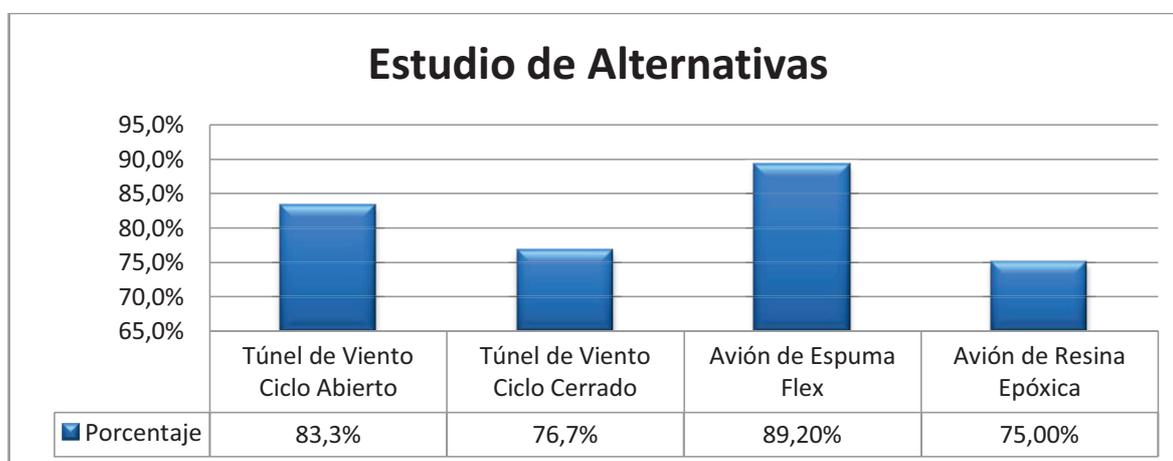


Figura 3.3. Estadísticas del estudio de alternativas

Fuente: Xavier Esteban Olalla Viteri

3.2.3 Selección de la mejor alternativa

Después de realizar un análisis técnico de la factibilidad de las alternativas, se ha elaborado un estudio de investigación mencionando las ventajas y desventajas

tanto para el túnel de viento como para el modelo estacionario (avión a escala), se realizó una evaluación de parámetros y por medio de gráfico estadístico se llegó a la siguiente conclusión. Que el túnel de viento de ciclo abierto y el avión de poliestireno expandido son las mejores alternativas para la construcción del prototipo a escala en controles de vuelo ya que posee mejores características y es más óptimo para su ilustración.

3.3 Diseño

El prototipo a escala en controles de vuelo fue diseñado basándose en un estudio investigativo y científico sobre temas relacionados a la aerodinámica, túneles de viento, superficies y controles de vuelo. Con la información obtenida se realizaron los cálculos adecuados para su diseño y por ende su construcción.

3.3.1 Descripción de los elementos del sistema

Para el diseño del prototipo a escala en controles de vuelo primarios se tomaron en cuenta los siguientes elementos que son muy importantes para su funcionamiento.

3.3.1.1 Avión a radio control

Como su nombre lo dice es un avión a escala que se puede operar mediante un control inalámbrico que envía las señales a los receptores de los micros servos ubicados dentro del mismo para que el avión vuele, sea en espacios libres como en lugares cerrados.

El avión Ultra Micro T-28 Trojan Ready to Fly (Ver Figura 3.1) es un avión que posee las superficies principales de vuelo lo que lo hace un avión estable en el aire y en sí tiene un gran rendimiento para realizar acrobacias deportivas.

El mismo que tiene instalado un Spektrum AR6400 DSM2 6 canales, unidad receptor/ESC/Servos instalados, tren de aterrizaje de nariz y principal que se

puede retirar fácilmente, control total de 4 canales (4 baterías AA), baterías Li-po y su respectivo cargador (Ver Figura 3.34 y 2.37)

En la siguiente tabla se puede observar las especificaciones técnicas del avión T-28 Trojan.

Tabla 3.2. Especificaciones avión T-28 Trojan

DETALLE	ESPECIFICACION
Envergadura	16.8 in (426 mm)
Longitud total	13.5 in (343 mm)
Peso de vuelo	1,34 oz (38.0 g)
Tamaño del motor	8.5 mm cepillado
Radio Control	+ 4 canales transmisor DSM2 requiere
CG (centro de gravedad)	Espalda 32 mm de LE en la raíz
Proposición Tamaño	130 mm x 70 mm
Batería recomendada	3.7 V 120 mAh 1S LiPo
Alerón	Sí
Estabilizador	Sí
Rudder	Sí
Acelerador	Sí
Flaps	No
Retráctiles	No
Aprox. Duración de Vuelo	6 minutos
Escala	Ultra Micro
Dirección	Sí
Recomendación edad mín.	14 años
Nivel de experiencia	Intermedio
Entorno recomendado	Interior / Exterior
Se Requiere ensamblaje	No

Fuente:

<http://www.parkzone.com/Products/Default.aspx?ProdID=PKZU1580>

El avión T-28 Trojan será instalado dentro del túnel aerodinámico soportado por un eje vertical el que le permitirá realizar los movimientos de alabeo, cabeceo y guiñada.

3.3.1.2 Fuente de aire

Para la fuente de aire fue necesario el uso de un ventilador que tenga un diámetro aproximado entre 50 y 60 cm, teniendo en cuenta la envergadura del avión a radio control, para que el flujo de aire permita su movimiento.



Figura 3.4. Ventilador Continental Electric

Fuente http://www.tventas.com/tventas_konakart/images//P15/CONT-270207_1_big.jpg

Existen una gran variedad de ventiladores sea para el uso en el hogar como: ventiladores de mesa, de pared, de techo y de piso. Además existen ventiladores industriales como son: axiales, centrífugos y helicoidales.

El Ventilador Continental Electric de 20 pulgadas es un ventilador de piso para el hogar, como cualquiera de los otros ventiladores excepto los industriales, fue construido para que este proporcione una velocidad de salida de 10 m/s,

independientemente del caudal o cualquier otro factor que este posea. Por ende este ventilador es muy útil para el túnel de viento ya que los aviones a radio control necesitan de una fuente de aire que no sea alta para que este no pierda control durante el vuelo. Y además si el avión necesitara mayor velocidad, solo es necesario manipular la palanca de potencia de la hélice.

En la siguiente tabla se pueden observar las especificaciones técnicas del ventilador.

Tabla 3.3 Especificaciones ventilador de aire

DETALLE	ESPECIFICACIÓN
Marca	Continental Electric
Modelo	CE27020
Material	Metálico
Diámetro de las aspas	51 cm (20in)
Número de aspas	3
Diámetro estructural	58 cm (23in)
Número de velocidades	3 (alto, medio, bajo)
Flujo de aire	Potente
Ángulo ajustable	Si
Soporte base	Si

Elaborado por: Xavier Esteban Olalla Viteri

El aire que proporciona un ventilador es turbulento por el giro circular que este realiza, por ende es necesario una malla cuadrangular de acrílico, el que permitirá que el aire se rectifique y se mueva de una forma laminar al avión. Esto permitirá que el avión posea el flujo de aire correcto para su movimiento o desplazamiento.



Figura 3.5. Malla cuadrangular de plástico (loovers)

Fuente: Xavier Esteban Olalla Viteri

3.3.1.3 Túnel de Viento Aerodinámico

El túnel de viento aerodinámico está conformado por 3 secciones, un cilindro, un domo y un anillo de acrílico para la sección divergente del ventilador y para la sección de salida del aire del túnel otro domo exterior.

El cilindro del túnel de viento fue diseñado en base a la envergadura del avión T-28 Trojan (42.6 cm) y del diámetro del Ventilador Continental Electric (58 cm) en acrílico transparente de 4 mm de grosor con un diámetro de 60 cm y 80 cm de largo. Además posee una separación de 8,7 cm entre el túnel y cada punta de ala con el fin de que el avión se mueva libremente y sin que interfiera el túnel en su movimiento.



Figura 3.6. Cilindro de acrílico
Fuente: Xavier Esteban Olalla Viteri

El domo divergente fue diseñado para ser instalado dentro del cilindro con el fin que el aire aumente su velocidad, disminuya su presión y al pasar por las rejillas cuadrículadas que van a ser instaladas dentro del mismo, el aire será direccionado en forma axial al túnel de viento. El diámetro de admisión es de 59,8 cm y el diámetro salida es de 45 cm para que el aire atraviese a toda la sección del avión y permita su movimiento. Además poseerá un anillo de 45 cm de diámetro y 7 cm de largo.

El domo de la sección de salida, como su nombre lo indica tiene la función de dirigir el aire al exterior del túnel, además fue diseñado para que este sea removible y permita dar mantenimiento al avión que va a estar instalado dentro del cilindro y para verificar que el eje se encuentre en buen funcionamiento. El diámetro exterior es de 61,3 cm y el diámetro de la sección de salida es de 20 cm el cual poseerá una rejilla de seguridad. Además el domo poseerá perforaciones de 7 cm de diámetro por su alrededor para que el aire pueda salir del túnel de viento.

3.3.1.4 Estructura base del túnel

La estructura base del túnel fue diseñado tomando en cuenta aspectos como soportar el peso del túnel de viento (prototipo), la movilidad de todo el sistema y almacenamiento de los elementos que permitirán volar el avión a radio control como son: el radio control, las baterías y el cargador. Este posee las siguientes dimensiones: 115 cm de largo, 70 cm de ancho y 84 cm de alto.

Para la estructura que soportará el peso del túnel se utilizaron ángulos metálicos de 90° de 3 cm x 3 mm de grosor y una tabla triplex de 14.5 cm x 69.5 cm y además se usó un soporte de madera de 30 cm por 30 cm con dos de sus lados opuestos que tienen un corte circular (forma del túnel) para que este descansa sobre el mismo y mantenerse nivelado. Este soporte será instalado en la parte inferior de la sección de salida.



Figura 3.7. Estructura base

Fuente: Xavier Esteban Olalla Viteri

Para la movilidad de la estructura se han utilizado ruedas plásticas con freno incorporado, que serán soldadas en cada una de las patas de la estructura. Si se desea colocar o quitar el freno se debe alzar o empujar la pestaña que sobresale de las ruedas.



Figura 3.8. Ruedas con frenos incorporados

Fuente: Xavier Esteban Olalla Viteri

La estructura de la base poseerá un cajón delantero, el que tiene como objetivo almacenar los elementos que permitirán manipular al avión a radio control como son: control inalámbrico de 4 canales con sus 4 baterías AA recargables y cargador de baterías AA, 3 baterías Li-po, cargador de baterías Li-po u manual de instrucción del avión a radio control.

3.3.2 Programa de diseño Rhinoceros 3D

Para la elaboración de los planos del prototipo a escala en controles de vuelo se usó un software de diseño gráfico llamado Rhinoceros 3D

Rhinoceros es un software de diseño gráfico e industrial el que realiza modelados en 3 dimensiones. Este programa es ampliamente usado para diseños industriales, automotriz, aeronáutico, arquitectura e ingenieras que necesiten de este tipo de trabajo.



Figura 3.9. Programa de diseño Rhinoceros
Fuente: <http://news.typeamachines.com/tag/rhino/>

3.4 Construcción

Para la construcción del prototipo a escala en controles de vuelo se siguió un orden y un procedimiento técnico.

3.4.1 Cilindro de acrílico

➤ Materiales

- Tabla triplex de 12 mm de grosor
- Plancha de tol
- Plancha de acrílico de 4 mm de grosor

➤ **Procedimiento**

Para la construcción del cilindro de acrílico se realizó el trazado de medidas en la tabla triplex para 3 circunferencias de 60 cm de diámetro, se las cortó con una caladora eléctrica y se pulió las imperfecciones de los bordes en un esmeril.



Figura 3.10. Trazado, corte y pulido de las circunferencias

Fuente: Xavier Esteban Olalla Viteri

Mediante las circunferencias y otros soportes de madera, se arma el molde del cilindro de acrílico con las especificaciones de 60 cm de diámetro y 80 cm de largo. Dada las especificaciones se traza y se corta la plancha de tol.



Figura 3.11. Armado de la estructura de madera y corte del tol

Fuente: Xavier Esteban Olalla Viteri

La plancha de tol se forró alrededor de la estructura de madera del cilindro y se pule para evitar imperfecciones que este posea y posteriormente se limpia la superficie tratada.



Figura 3.12. Armado y lijado del molde del cilindro de acrílico

Fuente: Xavier Esteban Olalla Viteri

Con el molde del cilindro se procede a usar el acrílico de 4 mm de grosor, a este se lo mide y se lo corta para posteriormente ingresarlo al horno térmico y así este tome la forma del molde construido anteriormente.



Figura 3.13. Armado del cilindro del acrílico

Fuente: Xavier Esteban Olalla Viteri

Finalmente después de haber ingresado el acrílico al horno, se desmonta la estructura del molde del cilindro construido en madera. Se lo limpia internamente y externamente y se agrega un refuerzo en la unión de los extremos del cilindro.

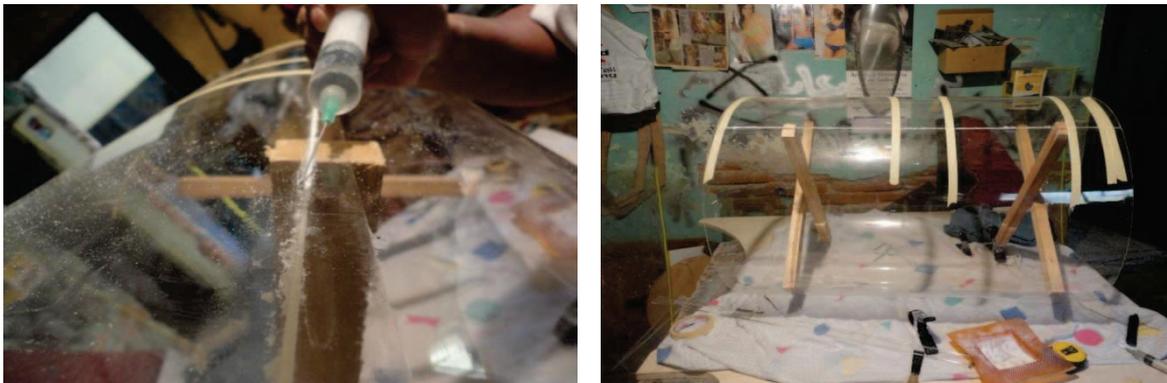


Figura 3.14. Limpieza y acabado del cilindro

Fuente: Xavier Esteban Olalla Viteri

3.4.2 Domos de acrílico para sección divergente y sección de salida

➤ Materiales

- Tabla triplex de 12 mm de grosor
- Plancha de acrílico de 2 mm de grosor

➤ **Procedimiento**

En la tabla triplex se trazan medidas para 2 circunferencias de 60 cm de diámetro para la construcción de los domos, se los corta y se los pule. Las circunferencias se los colocan en la prensa y se aplica el acrílico con los moldes en el horno térmico.



Figura 3.15. Trazado y corte de circunferencias

Fuente: Xavier Esteban Olalla Viteri

Posteriormente cuando el acrílico fue calentado este se lo infla con presión de aire moldeándolo con la forma requerida. Se deja enfriar, se lo corta con las especificaciones dadas para el domo de la sección divergente (diámetro externo 59,5 cm e interno 45 cm) y para la sección de salida (diámetro externo 61 cm e interno 20 cm)



Figura 3.16. Sección de salida y sección divergente

Fuente: Xavier Esteban Olalla Viteri

En la sección divergente se debe instalar un anillo de acrílico de 45 cm de diámetro y 7 cm de largo para que el flujo de aire se dirija a la envergadura del avión y para la sección de salida se debe instalar una rejilla protectora de 19 cm de diámetro y de un eje que le permita mover. Además esta sección necesita de perforaciones para que el flujo de aire que es proporcionado por el ventilador pueda salir al exterior.



Figura 3.17. Acabado de las secciones

Fuente: Xavier Esteban Olalla Viteri

3.4.3 Fuente de aire

➤ Materiales

- Ventilador de aire de 20 pulgadas
- Soporte metálico
- Loovers blancos
- Sinchos plásticos blancos

➤ Procedimiento

El ventilador de 20 pulgadas posee su propia estructura metálica, la misma que debe ser armada para que esta pueda mantenerse estable. Mediante el uso de un láser industrial se debe cortar 14 circunferencias de los loovers blancos para formar canales por donde el aire circule y así que cubra a toda la superficie del avión.

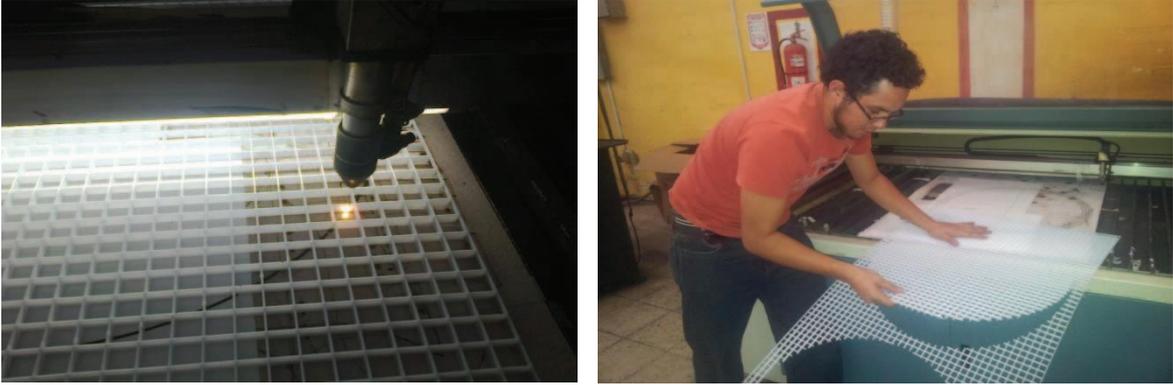


Figura 3.18. Corte de los loovers con laser

Fuente: Xavier Esteban Olalla Viteri

Al terminar de cortar las 14 circunferencias estas deben ser lijadas para remover imperfecciones que puedan haber aparecido por el corte realizado. Las circunferencias de los loovers deben ser sujetadas unas con otras mediante el uso de sinchos plásticos, estas circunferencias deben ser alineadas e instaladas correctamente.



Figura 3.19. Lijado e instalación de las circunferencias

Fuente: Xavier Esteban Olalla Viteri

Una vez que las 14 circunferencias hayan sido instaladas correctamente dentro de la sección divergente del túnel y que estas se encuentren alineadas, instalar el ventilador con su respectiva estructura metálica.



Figura 3.20. Instalación de los loovers a la estructura del ventilador

Fuente: Xavier Esteban Olalla Viteri

3.4.4 Avión a radio control

➤ Materiales

- Avión T-28 Trojan
- Control de 4 canales (4 baterías AA)
- Baterías Li-po
- Alambre de teléfono
- Cobertura plástica para alambre
- Rótula móvil
- Resorte

➤ Procedimiento

El avión a radio control T-28 Trojan se encuentra listo para volar, ya que se encuentra armado y posee sus respectivos elementos como control, cargador portátil, baterías AA y Li-po. Los trenes de aterrizaje deben ser instalados y la batería para que este pueda volar, además se debe calibrar el control con el avión T-28 Trojan como lo dice en el manual.



Figura 3.21. Avión a radio control T-28 Trojan

Fuente: Xavier Esteban Olalla Viteri

Una vez examinado que el avión no tenga ningún problema, se procedió a calibrar las superficies de vuelo, en donde se debe abrir el fuselaje del avión y realizar el procedimiento adecuado. Si el avión realiza todos los movimientos deseados por el usuario, se debe cerrar y pegar el fuselaje. Para colocar la rótula móvil se procedió a calcular el centro de gravedad del avión, el mismo que se encuentra entre 30 a 32 mm del borde de ataque del ala unida al fuselaje. Una vez calculado se procedió a pegar el dispositivo.



Figura 3.22. Calibración de superficies de vuelo

Fuente: Xavier Esteban Olalla Viteri

Además se realizó una extensión del puerto de carga del avión para que este se encuentre fuera del túnel de viento y así facilitar la operación, esta extensión trabaja conjuntamente con el soporte del avión, los que están conformados por un resorte y una cobertura plástica para alambre, los que permiten al avión apoyarse y poder observarlo suspendido dentro del túnel de viento.



Figura 3.23. Eje de soporte del avión
Fuente: Xavier Esteban Olalla Viteri

3.4.5 Estructura base

➤ Materiales

- Ángulo metálico de 3 cm x 3 mm de grosor
- Ruedas plásticas con frenos incluidos
- Tabla de madera triplex
- Soporte y cajón de almacenamiento de madera
- Estructura metálica del ventilador

➤ Procedimientos

Para la estructura metálica se usaron ángulos de 3 cm x 3 mm, se trazaron las medidas correspondientes y se realizaron los cortes adecuados. Una vez que todos los ángulos hayan sido cortados, se arma la estructura con puntos de suelda y se verifica que todo este correcto.



Figura 3.24. Corte y armado estructural

Fuente: Xavier Esteban Olalla Viteri

Una vez de que la estructura se encuentre armada correctamente, se realizó una suelda en cada unión y con la ayuda de una amoladora se pulieron las sueldas y toda la estructura para remover imperfecciones. Después se colocaron las ruedas plásticas con el fin de que la estructura se pueda transportar fácilmente. Para el cajón de almacenamiento se realizó una perforación para colocar la cerradura del cajón.



Figura 3.25. Pulido y acabado del cajón

Fuente: Xavier Esteban Olalla Viteri

Finalmente se pintó la estructura metálica de color gris. Dadas las medidas de la estructura se trazó y se cortó una tabla triplex para que esta sea la base. Además se instaló la estructura metálica del ventilador y el soporte de madera en donde el prototipo pueda apoyarse.



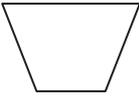
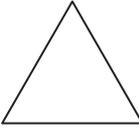
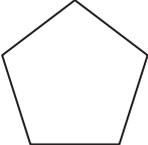
Figura 3.26. Instalación de tabla triplex y soportes

Fuente: Xavier Esteban Olalla Viteri

3.5 Diagrama de construcción y ensamblaje

Los diagramas de procesos tienen como objetivo describir cada uno de los procedimientos realizados mediante el uso de símbolos. En la siguiente tabla se puede observar las figuras que serán utilizados en los diagramas.

Tabla 3.4. Simbolización de los diagramas de procesos

ACTIVIDAD	FIGURA	DETALLE
Trabajo		Se realiza una acción o se fabrica algo
Control		Se verifica o se inspecciona cada uno de los detalles
Subsistema		Se construye un elemento del sistema
Sistema terminado		Se construye el proyecto en su totalidad

Elaborado por: Xavier Esteban Olalla Viteri

3.5.1 Diagramas de procesos del túnel de viento

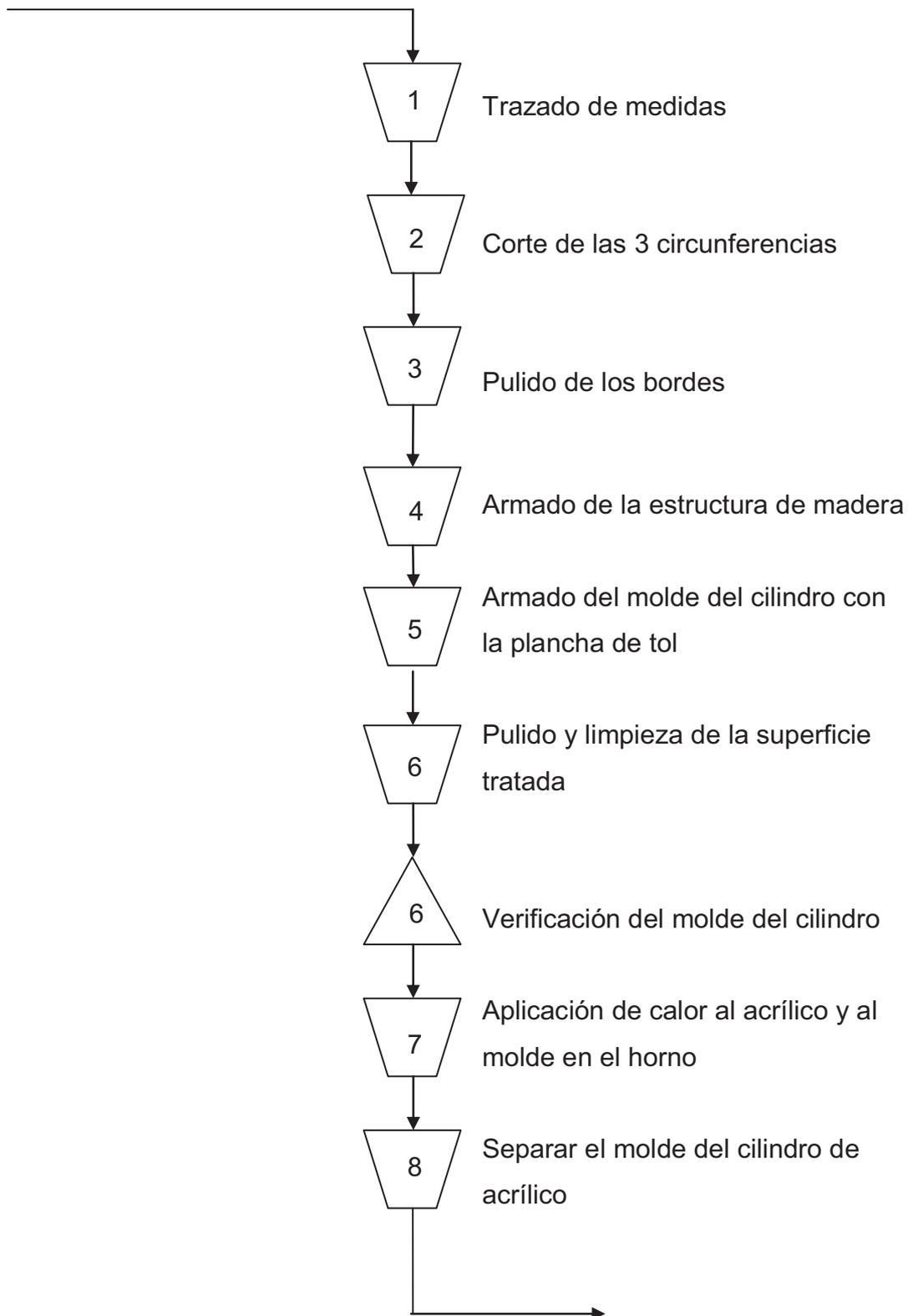


Figura 3.27. Diagrama de procesos del cilindro de acrílico (1/2)

Elaborado por: Xavier Esteban Olalla Viteri

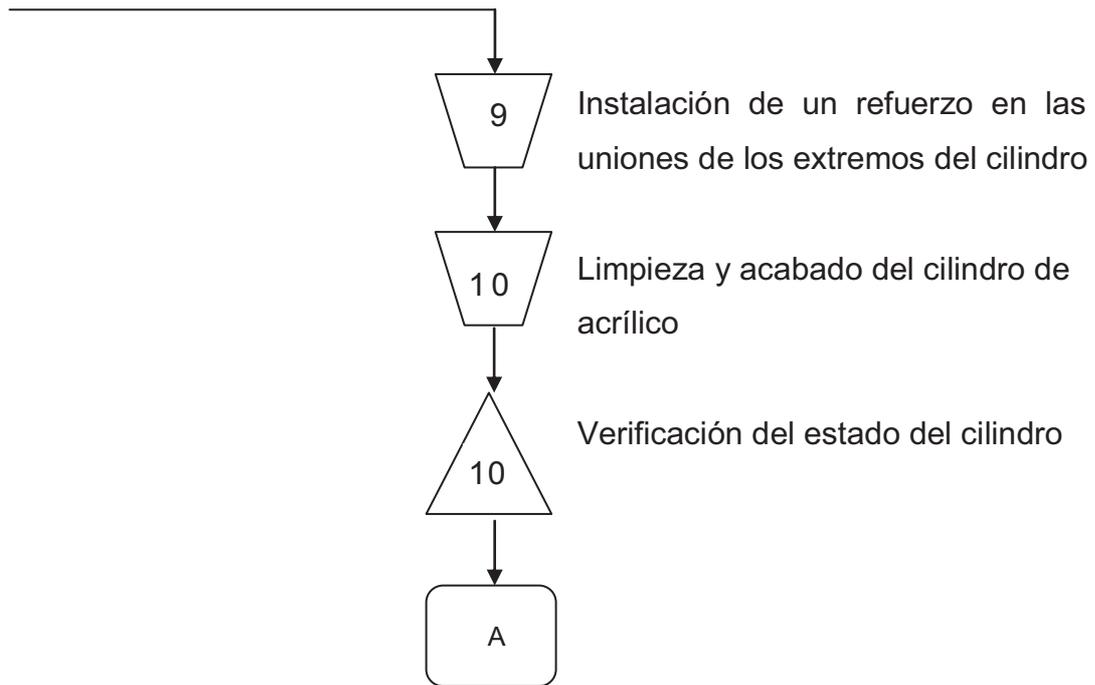


Figura 3.27. Diagrama de procesos del cilindro de acrílico (2/2)

Elaborado por: Xavier Esteban Olalla Viteri

3.5.2 Diagrama de procesos de la secciones de salida y divergente

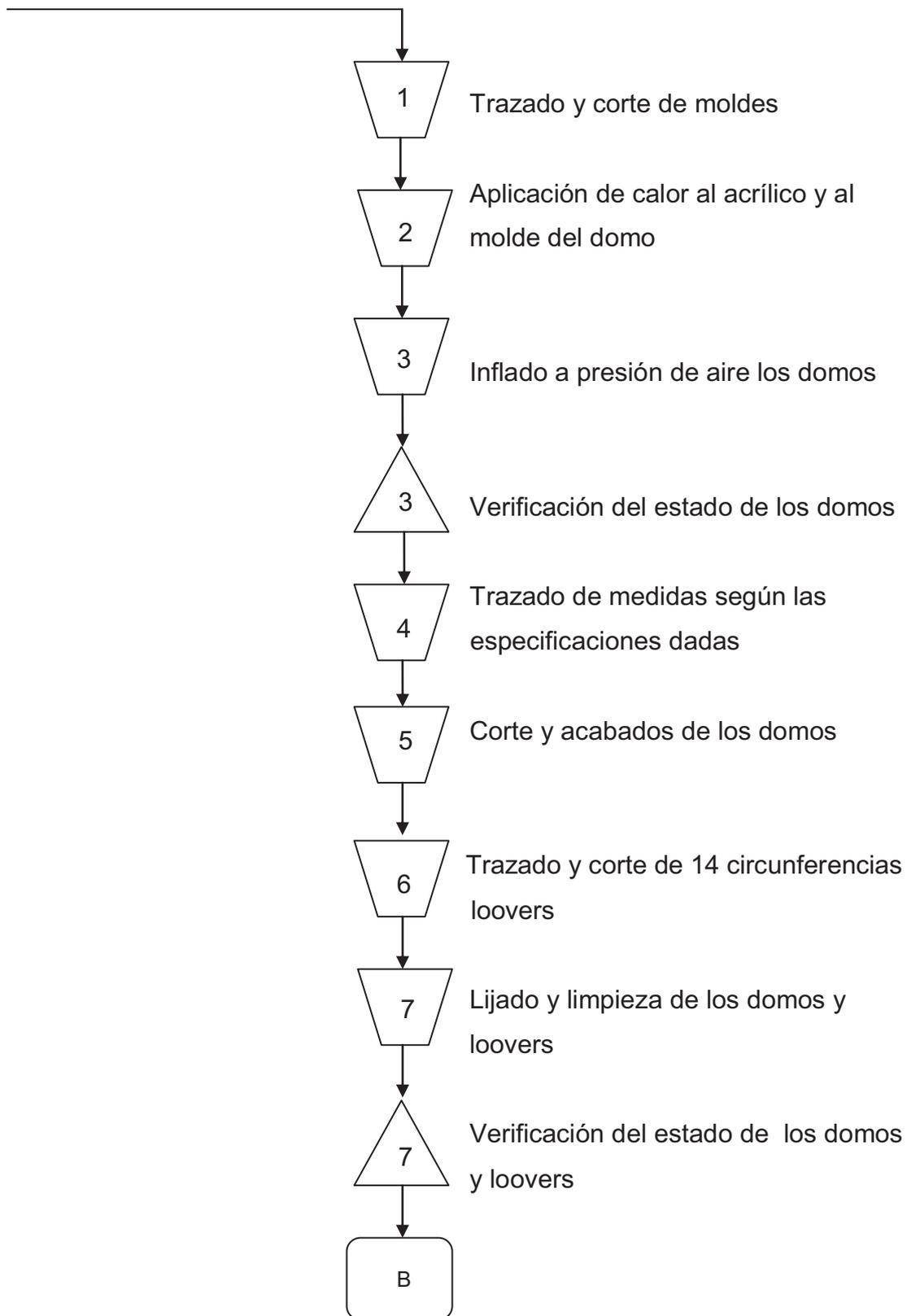


Figura 3.28. Diagrama de procesos de los domos de acrílico

Elaborado por: Xavier Esteban Olalla Viteri

3.5.3 Diagrama de procesos para la estructura base

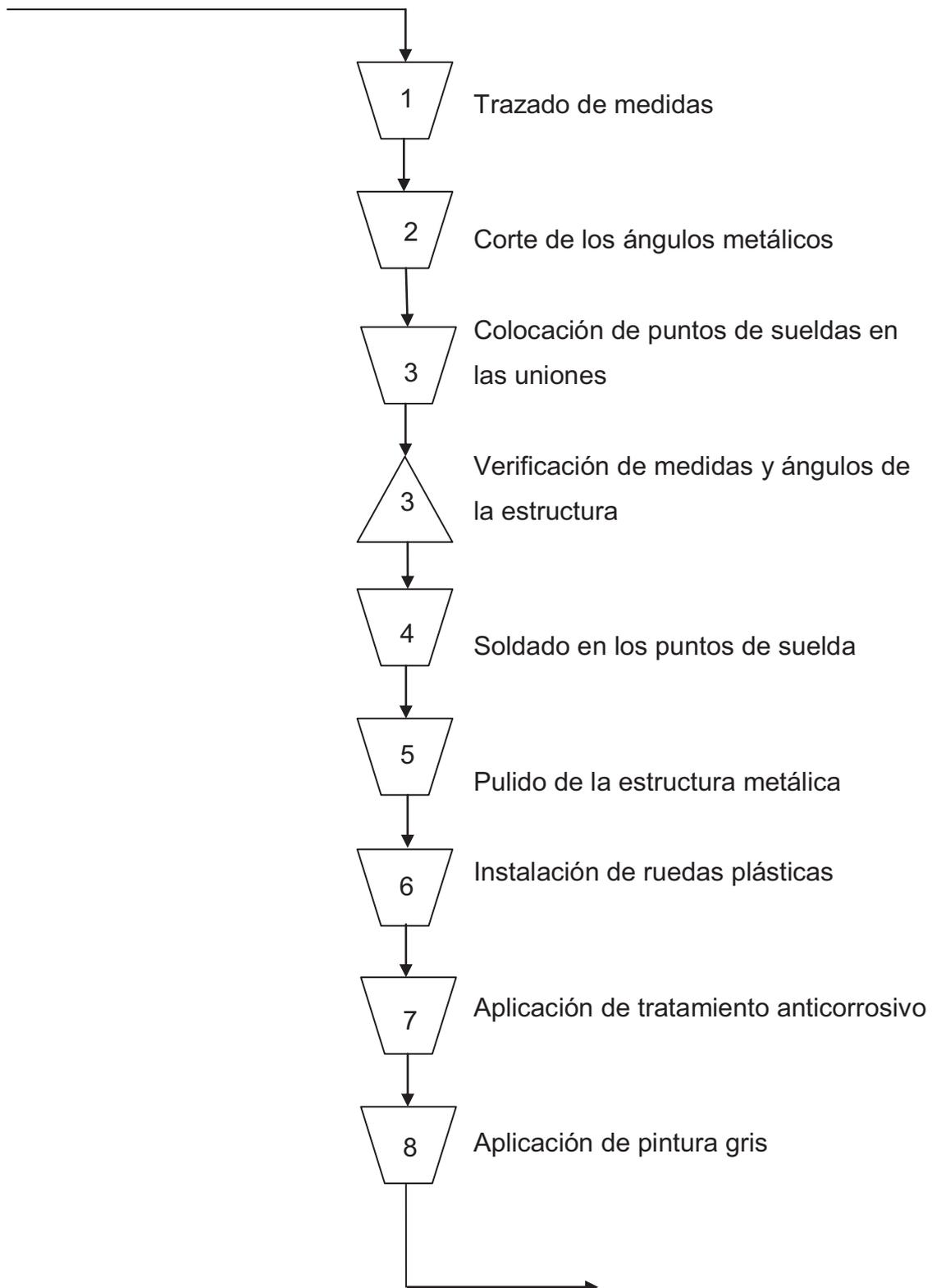


Figura 3.29. Diagrama de procesos de la estructura base (1/2)

Elaborado por: Xavier Esteban Olalla Viteri

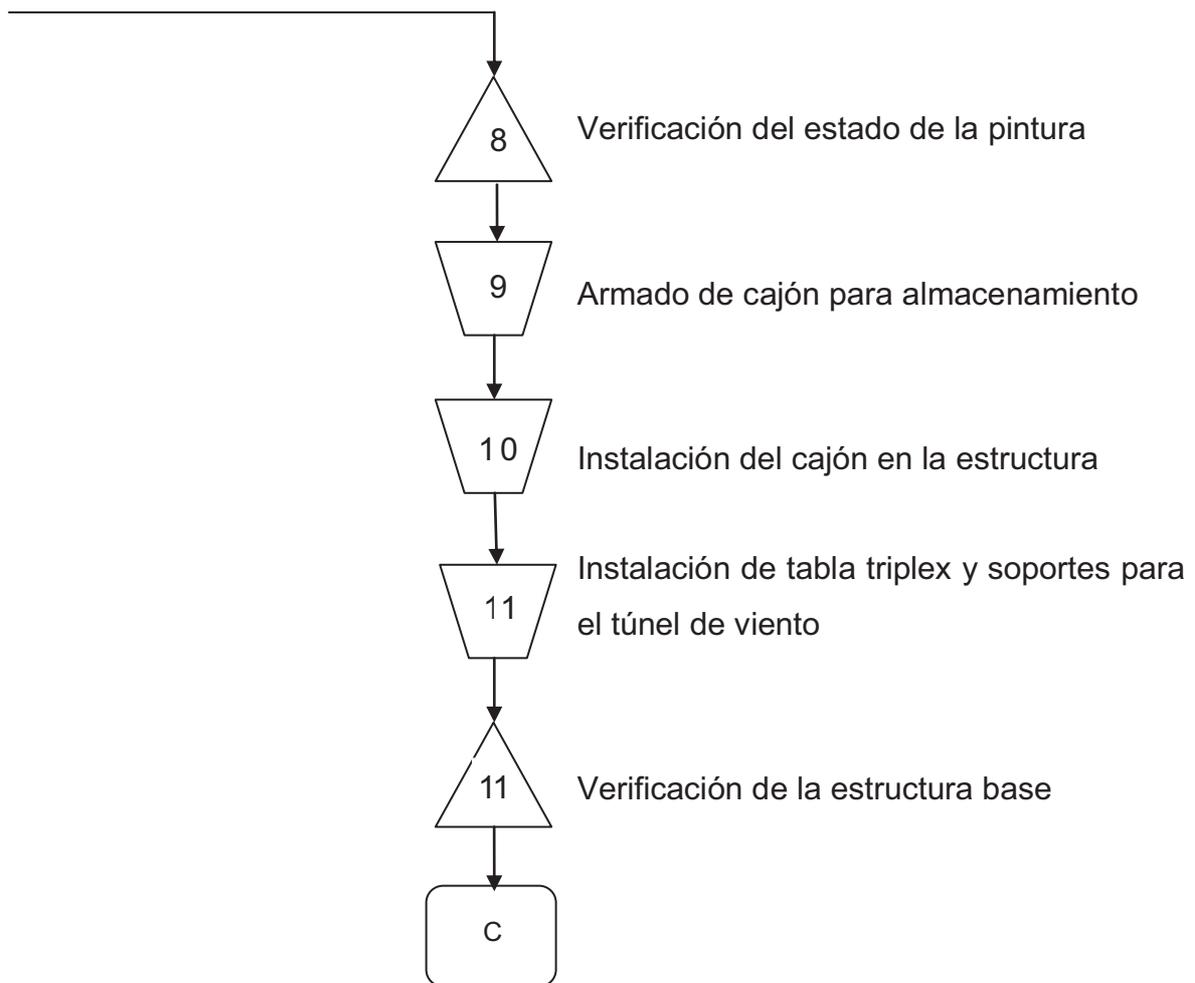


Figura 3.29. Diagrama de procesos de la estructura base (2/2)

Elaborado por: Xavier Esteban Olalla Viteri

3.5.4 Diagrama de procesos para el avión a radio control

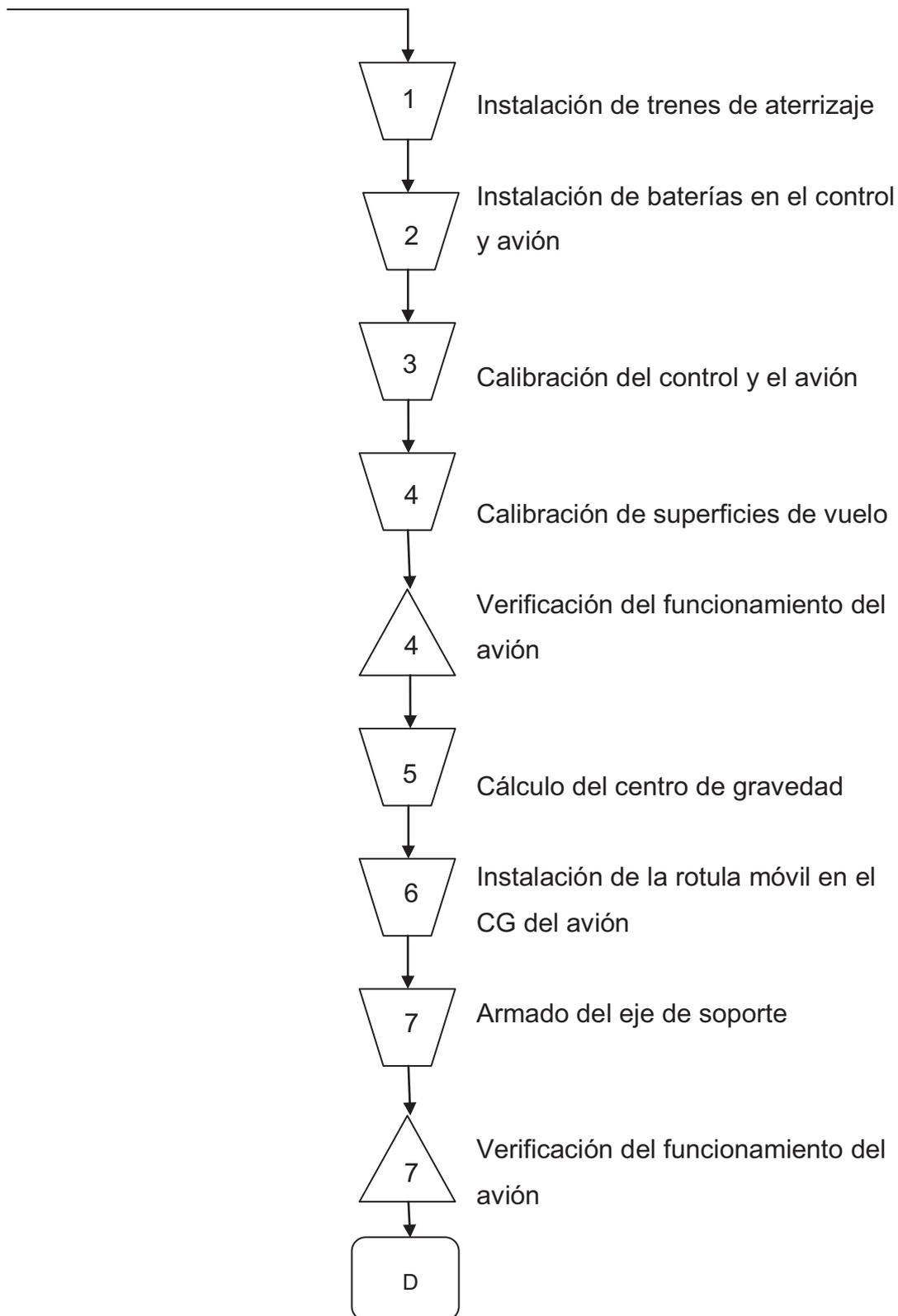


Figura 3.30. Diagrama de procesos del avión a radio control

Elaborado por: Xavier Esteban Olalla Viteri

3.5.5 Diagrama de ensamblaje final

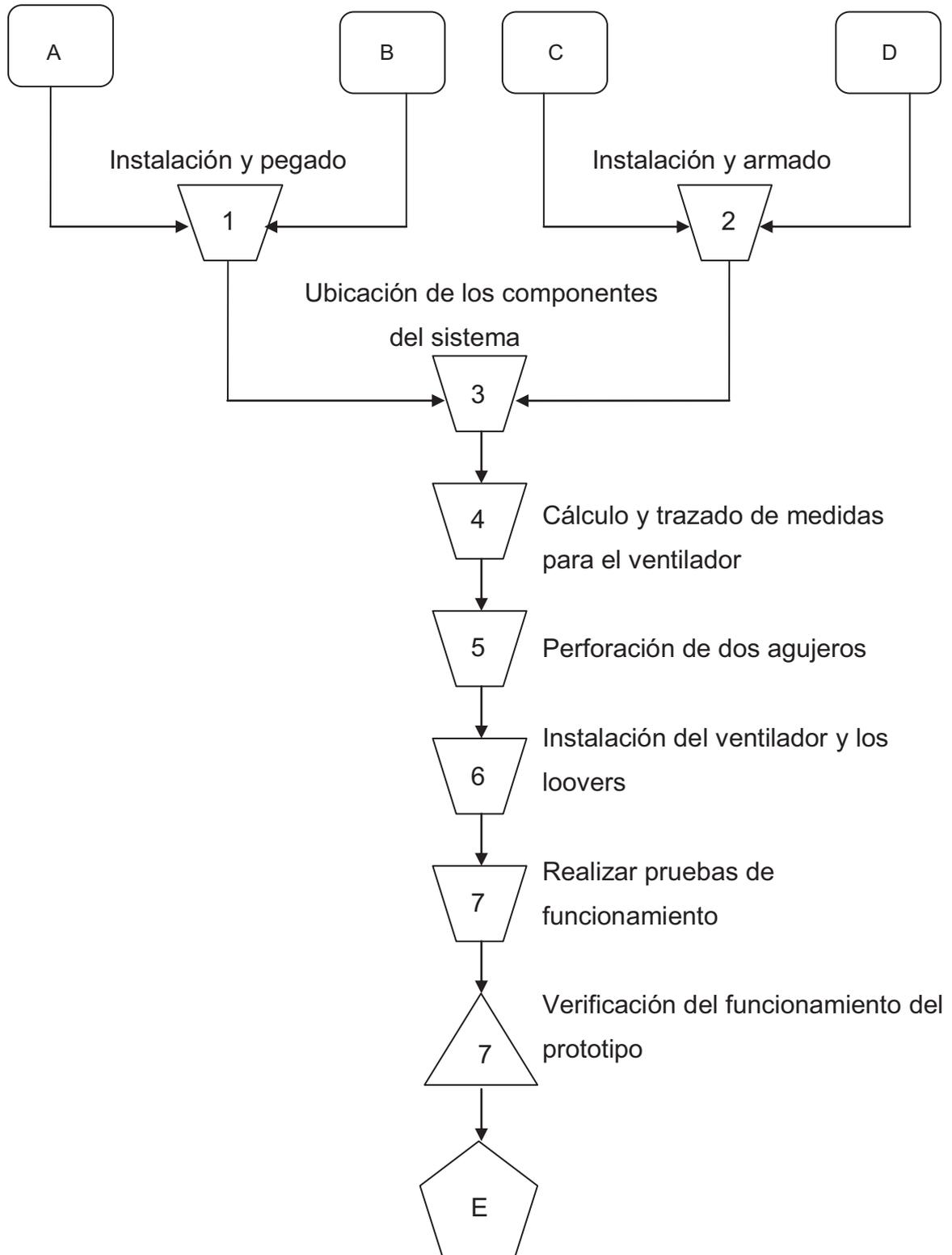


Figura 3.31. Diagrama de ensamblaje final

Elaborado por: Xavier Esteban Olalla Viteri

3.5.6 Partes del prototipo en controles primarios de vuelo

En la siguiente tabla se puede observar cada una de las partes del prototipo en controles de vuelo primarios con su respectiva nomenclatura.

Tabla 3.5. Nomenclatura de las partes del prototipo

A. Túnel aerodinámico	- Ducto de entrada de aire
	- Sección divergente
	- Rejillas rectificadoras de aire
	- Sección de prueba
	- Ducto de salida de aire
	- Malla de seguridad
B. Fuente de aire	- Ventilador
	- Estructura metálica
	- Soporte metálico
C. Avión a radio control	- Fuselaje
	- Hélice
	- Tren de aterrizaje
	- Alerones
	- Elevadores
	- Rudder
	- Eje de soporte
D. Estructura Base	- Estructura metálica
	- Ruedas
	- Base de madera
	- Cajón de almacenamiento
	- Soporte de madera

Elaborado por: Xavier Esteban Olalla Viteri

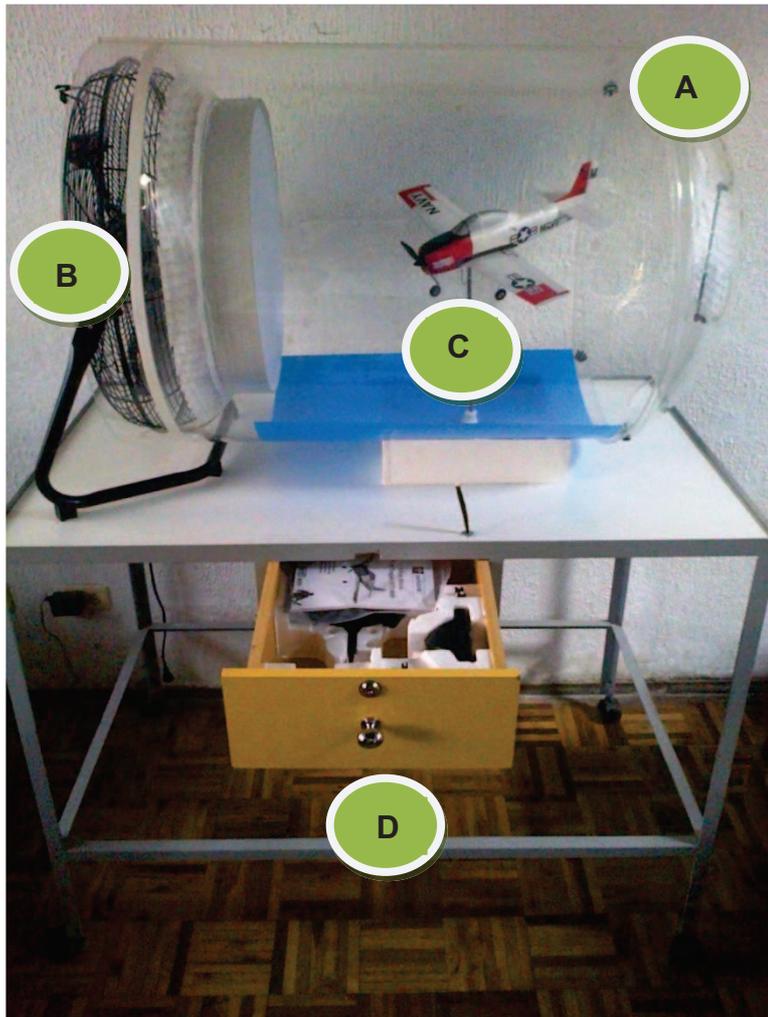


Figura 3.32. Prototipo a escala en controles de vuelo

Fuente: Xavier Esteban Olalla Viteri

3.6 Pruebas y análisis de resultados

Las pruebas fueron realizadas a 6 parámetros, en donde se usó una escala de evaluación la que será indicada mediante un valor entre 1 y 10. Dependiendo del rango en el que este se encuentre, será evaluado de la siguiente forma:

- Sobresaliente (10 y 9)
- Muy satisfactorio (8 y 7)
- Satisfactorio (6 y 5)
- Insatisfactorio (≤ 4)

En las siguientes tablas se registran las evaluaciones a las pruebas realizadas así como el análisis de resultados con un estudio del problema y la solución realizada para mejorarlo.

Tabla 3.6. Prueba No.1

Parámetros De Evaluación	Valor Evaluación	Estado
Flujo de aire	4	Insatisfactorio
Sección de salida	5	Satisfactorio
Eje de soporte del avión	5	Satisfactorio
Movimiento de Alabeo	4	Insatisfactorio
Movimiento de Cabeceo	4	Insatisfactorio
Movimiento de Guiñada	6	Satisfactorio

Elaborado por: Xavier Esteban Olalla Viteri

Tabla 3.7. Análisis de resultados prueba No. 1

Problemas	Solución
El flujo de aire no se direcciona al avión	Se instaló un anillo de acrílico de 45 cm de diámetro y 7 cm de largo, al final de la sección divergente
La sección de salida no evacua todo el aire que el ventilador proporciona	Se perforó 8 circunferencias de 70 cm de diámetro alrededor de la sección de salida
El eje no soporta el peso del avión a radio control	Se instaló una nueva cobertura plástica, un resorte y un alambre galvanizado.
Los movimientos no se efectúan correctamente	Se calibró las superficies de vuelo del avión T-28 Trojan

Elaborado por: Xavier Esteban Olalla Viteri

Tabla 3.8 Prueba No.2

Parámetros De Evaluación	Valor Evaluación	Estado
Flujo de aire	6	Satisfactorio
Sección de salida	7	Muy Satisfactorio
Eje de soporte del avión	7	Muy Satisfactorio
Movimiento de Alabeo	6	Satisfactorio
Movimiento de Cabeceo	6	Satisfactorio
Movimiento de Guiñada	7	Muy Satisfactorio

Elaborado por: Xavier Esteban Olalla Viteri

Tabla 3.9 Análisis de resultados prueba No. 2

Problemas	Solución
El flujo de aire es turbulento	Se instalaron un total de 14 circunferencias de loovers (rejillas plásticas) las que proporcionarán el flujo de aire laminar
La sección de salida no evacua el aire del ventilador	Se perforaron otras 8 circunferencias de 80 cm de diámetro alrededor de la sección de salida
El eje no permite realizar correctamente los movimientos del avión	Se instaló una nueva rótula móvil en el centro de gravedad del avión a radio control
Los movimientos no se efectúan fácilmente	Se balanceó el avión y además se volvió a calibrar las superficies de vuelo del avión T-28 Trojan

Elaborado por: Xavier Esteban Olalla Viteri

Tabla 3.10 Prueba No.3

Parámetros De Evaluación	Valor Evaluación	Estado
Flujo de aire	9	Sobresaliente
Sección de salida	9	Sobresaliente
Eje de soporte del avión	9	Sobresaliente
Movimiento de Alabeo	10	Sobresaliente
Movimiento de Cabeceo	10	Sobresaliente
Movimiento de Guiñada	10	Sobresaliente

Elaborado por: Xavier Esteban Olalla Viteri

➤ **Conclusiones de las pruebas realizadas**

Después de haber corregido cada uno de los problemas que existían, se llegó a concluir que el prototipo a escala en controles de vuelo primarios se encuentra en óptimas condiciones para su uso y operación.

3.7 Documentos de aceptación del usuario

Una vez que el prototipo a escala en controles de vuelo se encuentre óptimo para su uso es importante tener un manual de operación, mantenimiento y seguridad, dentro de estos manuales se especifican los procedimientos que se deben seguir para su correcto uso, las precauciones que se deben tomar en cuenta y los pasos que se deben seguir para dar un mantenimiento correcto a cada uno de los elementos del prototipo.

En el siguiente formato se detalla cada uno de los manuales anteriormente mencionados, se deben leer detenidamente y bajo la supervisión del personal encargado.

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR AERONÁUTICO



Manual de Seguridad



PROTOTIPO A ESCALA EN CONTROLES DE VUELO PRIMARIOS

Elaborado por: Xavier Esteban Olalla Viteri

Revisión No. 1

Aprobado por: Ing. Hebert Atencio Vizcaíno

Fecha: Agosto 2013

I. Objetivo

Indicar los procedimientos de seguridad que se deben seguir para operar el avión T-28 Trojan RTF/BNF y las baterías Li-po

II. Manual de seguridad

- El avión a radio control T-28 Trojan si se lo usa de forma incorrecta puede causar daños tanto al personal como a la integridad del prototipo, favor revisar las notices, cautions, warnings del manual de instrucción del avión a radio control.
- Las baterías Li-po (LithiumPolymer) pueden causar daños si no se usan correctamente. Favor revisar el manual tanto de seguridad como de operación de las baterías, si existiera alguna duda de cómo usarlas.

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR AERONÁUTICO



Manual de Operación



PROTOTIPO A ESCALA EN CONTROLES DE VUELO PRIMARIOS

Elaborado por: Xavier Esteban Olalla Viteri

Revisión No. 1

Aprobado por: Ing. Hebert Atencio Vizcaíno

Fecha: Agosto 2013

I. Objetivo

Indicar los procedimientos correctos que se deben seguir para operar el prototipo mediante el uso del avión T-28 Trojan RTF/BNF

II. Manual de operación

➤ Antes del uso

- Verificar que dentro del cajón de almacenamiento se encuentre los siguientes componentes
 - ❖ Radio control de 4 canales
 - ❖ 4 baterías AA Recargables y respectivo cargador
 - ❖ Cargador portátil de baterías Li-po
 - ❖ 3 baterías Li-po (1 principal y 2 de reserva)
 - ❖ Manual de instrucción del avión T-28 Trojan

- Cargar las baterías Li-po, si estas se encontraran descargadas (Ver manual de instrucción del avión Pág. 107)

- Verificar que el ventilador, el túnel de acrílico, el avión T-28 Trojan y la estructura base se encuentren en perfectas condiciones

➤ **Durante el uso**

- Para su operación correcta favor seguir los siguientes pasos
 1. Conectar el toma corriente del ventilador a una fuente de 115 VAC. Verificar su funcionamiento y apagarlo
 2. Colocar las baterías AA en el radio control del avión y encenderlo.(Ver manual de instrucción del avión Pág.108)
 3. Instalar la batería Li-po en el puerto correspondiente (Ver manual de instrucción del avión Pág. 112)
 4. Verificar que el radio control pueda enviar señales al avión para el movimiento de alerones, elevadores, rudder y hélice.
 5. Encender el ventilador en la velocidad deseada. Se recomienda empezar en una baja velocidad.
 6. Operar el avión mediante el uso correcto del radio control (Ver manual de instrucción Pág. 109 y 110)

➤ **Después del uso**

- Al terminar de usar el prototipo, favor seguir los siguientes pasos:
 1. Posicionar a cutoff la palanca de la potencia de la hélice.
 2. Apagar el ventilador y desconectarlo.
 3. Retirar la batería Li-po del conector externo del avión.
 4. Apagar el radio control y retirar las 4 baterías AA
 5. Retirar las 4 baterías AA del cargador portátil si este fue usado.
 6. Guardar cada uno de los componentes dentro del cajón de almacenamiento.
 7. Verificar que todo se encuentre en orden.
 8. Cerrar el cajón con las llaves proporcionadas.

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR AERONÁUTICO



Manual de Mantenimiento



PROTOTIPO A ESCALA EN CONTROLES DE VUELO PRIMARIOS

Elaborado por: Xavier Esteban Olalla Viteri

Revisión No. 1

Aprobado por: Ing. Hebert Atencio Vizcaíno

Fecha: Agosto 2013

I. Objetivo

Indicar los procedimientos que se deben seguir para dar mantenimiento al avión T-28 Trojan RTF/BNF y al prototipo a escala en controles de vuelo.

II. Manual de mantenimiento

- Si fuera el caso de no haber seguido correctamente el manual de operación y no se lograra operar el avión con el radio control ya que estos no se encuentran acoplados (Ver manual de instrucción Pág. 108 y 114). Favor seguir los siguientes pasos:
 1. Apagar el radio control y mantener la batería Li-po conectada al avión
 2. Presionar la palanca de la hélice en el punto medio del mismo y encender el control.
 3. Mantenerlo aproximadamente 3 segundos y soltarla
 4. Se escucharán unos beeps y dentro del fuselaje se observará una luz roja.
 5. De 5 a 10 segundos, el radio control y el avión se encontrarán acoplados.

- Si se desea realizar un trim y calibrar las superficies de vuelo, revisar manual de instrucción Pág. 109 y 111 respectivamente
- Para dar mantenimiento a la hélice y su eje, revisar manual de instrucción Pág. 113
- El troubleshooting permite seguir paso a paso los problemas que puede presentar el avión, revisar manual de instrucción Pág. 115
- Si fuera el caso de reemplazar alguna parte o componente del avión, revisar manual de instrucción Pág. 116

III. Mantenimiento Programado

- El prototipo a escala en controles de vuelo cada cierto tiempo necesita un tipo de mantenimiento para proteger la integridad del mismo y estos son:

1. Mantenimiento Trimestral

- Verificación del estado del prototipo
- Limpieza interna y externa
- Verificación de las baterías Li-po y alcalinas recargables

2. Mantenimiento Semestral

- Chequeo del estado de los soportes del ventilador (metálico) y del túnel de viento (madera)
- Chequeo que todas las tuercas, tornillos, mariposas y arandelas se encuentren en su lugar.
- Calibración del control de 4 canales y el avión a radio control.

3. Mantenimiento Anual

- Calibración de las superficies de control y vuelo del avión T-28 Trojan.
- Verificación del funcionamiento de ventilador

3.8 Análisis económico

Tabla 3.11. Costo de los elementos del sistema

DETALLE	CANTIDAD	VALOR UNI.	COSTO
Avión T-28 Trojan	1	\$ 170,21	\$ 170,21
Baterías Li-po	2	\$ 15,00	\$ 30,00
Baterías AA recargables	4	\$ 4,30	\$ 17,20
Ventilador de aire	1	\$ 86,00	\$ 86,00
Cilindro acrílico	1	\$ 295,00	\$ 295,00
Loovers plásticos	7	\$ 10,53	\$ 73,71
Domo de acrílico	2	\$ 60,00	\$ 120,00
Anillo de acrílico	1	\$ 25,00	\$ 25,00
Soporte de madera	1	\$ 6,00	\$ 6,00
Estructura metálica	1	\$ 50,00	\$ 50,00
Tabla de madera	1	\$ 15,00	\$ 15,00
		VALOR TOTAL	\$ 888,12

Elaborador por: Xavier Esteban Olalla Viteri

Tabla 3.12. Costo de materiales de apoyo

No.	DETALLE	COSTO
1	Internet	\$ 10,00
2	Copias	\$ 7,50
3	Resma De Hojas	\$ 10,46
4	Impresiones	\$ 15,00
5	Anillados	\$ 6,50
6	Empastados	\$ 20,00
7	Cds	\$ 3,00
8	Transporte	\$ 15,00
	VALOR TOTAL	\$ 87,46

Elaborado por: Xavier Esteban Olalla Viteri

Tabla 3.13. Costo total del prototipo a escala en controles de vuelo

No.	DETALLE	VALOR TORTAL
1	COSTO DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA	\$ 888,12
2	COSTO DE MATERIAL DE APOYO	\$ 87,46
	COSTO TOTAL	\$ 975,58

Elaborado por: Xavier Esteban Olalla Viteri

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- La recopilación de información fundamental sobre los temas que fueron aplicados en el trabajo práctico, facilitó el proceso de diseño y construcción del prototipo a escala en controles de vuelo
- El software de diseño gráfico como Rhinoceros fue de gran ayuda ya que permitió tener una idea clara y concisa del diseño del prototipo y así poder construirlo.
- Se realizaron pruebas de funcionamiento para determinar posibles fallas, los mismos que fueron corregidos, asegurando el funcionamiento correcto del prototipo.
- Se elaboraron los manuales de operación, mantenimiento y seguridad con el fin de conocer el uso correcto y dar seguridad al operador.
- La implementación y construcción del prototipo a escala permitirá el perfeccionamiento académico en los alumnos de Mecánica Aeronáutica sobre aerodinámica, controles y superficies de vuelo.
- La adquisición de los materiales, la construcción del prototipo y las pruebas realizadas fueron factibles para realizar el presente proyecto.

4.2 Recomendaciones

- Leer los manuales de operación, mantenimiento y seguridad antes de operar el prototipo conjuntamente con los estudiantes y el profesor encargado.
- Usar el prototipo a escala en controles de vuelo, bajo la supervisión del jefe de sección donde este se encuentre.
- Usar siempre el manual de operación del avión T-28 Trojan para que este funcione correctamente y evitar problemas que puedan dañarlo.
- El prototipo a escala debe ser operado por una persona que sea capacitada en aerodinámica de aviones y/o que conozca sobre aeromodelismo para lograr un máximo desempeño del prototipo.
- Usar el prototipo siempre y cuando se lo necesite como material didáctico en clases tanto para explicar temas sobre aviación, aerodinámica como aeromodelismo.

GLOSARIO

- **Perfiles alares:** es la forma del área transversal de un elemento, que al desplazarse a través del aire es capaz de crear a su alrededor una distribución de presiones que genere sustentación.
- **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.
- **Sustentación:** es la fuerza generada sobre un cuerpo que se desplaza a través de un fluido, de dirección perpendicular a la de la velocidad de la corriente incidente
- **Turbulencia:** es un fenómeno estrechamente relacionado con la meteorología. Se la puede considerar como corrientes de aire inestables que suelen azotar al avión (se clasifican según su grado, siendo la mayor la turbulencia severa) generalmente al atravesar nubes y zonas montañosas.
- **Número de Reynolds:** es un número adimensional utilizado en mecánica de fluidos, diseño de reactores y fenómenos de transporte para caracterizar el movimiento de un fluido.
- **Número Mach:** es una medida de velocidad relativa que se define como el cociente entre la velocidad de un objeto y la velocidad del sonido en el medio en que se mueve dicho objeto.
- **Velocidad del sonido:** es la dinámica de propagación de las ondas sonoras. En la atmósfera terrestre es de 341 m/s (a 20 °C de temperatura y a nivel del mar).
- **Densidad:** es una magnitud escalar referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen de una sustancia.
- **Temperatura:** es una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico, definida por el principio cero de la termodinámica.
- **Presión:** es una magnitud física escalar que mide la fuerza en dirección perpendicular por unidad de superficie, y sirve para caracterizar cómo se aplica una determinada fuerza resultante sobre una superficie.
- **Nudos:** es una medida de velocidad utilizada tanto para navegación marítima como aérea. Equivale a una milla náutica por hora.

- **Gravedad:** es una fuerza de atracción que efectúa la masa de la Tierra sobre los cuerpos situados en el campo gravitatorio terrestre
- **Cabrilla:** es la palanca de mando que permite a la tripulación realizar los movimientos de alabeo y cabeceo.
- **Sidesticks:** es una palanca de mando moderna que son usados para el control manual del pitch y del roll. La empuñadura manual incluye 2 switches:
 - Pushbutton de prioridad del sidestick / desconexión A/P
 - Botón PushTalk
- **Flaps:** son aquellos en que los planos hipersustentadores, a medida que bajan creando un ángulo (que se mide en grados) con la cuerda del ala, se desplazan hacia atrás aumentando la superficie alar.
- **Slats:** son dispositivos móviles que crean una ranura entre el borde de ataque del ala y el resto del plano, permitiendo que el perfil alar aumente y por lo tanto la sustentación.
- **Spoilers:** es un dispositivo (placas montadas en la cara superior de las alas) que busca reducir la fuerza de sustentación de una aeronave.
- **Centro de gravedad:** es el punto de aplicación de la resultante de todas las fuerzas de gravedad que actúan sobre las distintas porciones materiales de un cuerpo
- **Yaw:** movimiento de guiñada, la rotación alrededor del eje vertical en los aviones
- **Roll:** movimiento de alabeo, la rotación alrededor del eje longitudinal en los aviones
- **Pitch:** movimiento de cabeceo, la rotación alrededor del eje transversal en los aviones

SIGLAS

- **Mathc:** velocidad del sonido
- **Mph:** milla por hora
- **Km/h:** kilometro por hora

- **M/s:** metro por segundo
- **Nudo:** 1852 m/h (metros por hora)
- **CG:** Centro de Gravedad
- **SAT:** Seguridad Aérea y Terrestre
- **ATA:** Air Transport Association
- **LAF:** Load AlleviationFunction (Función de alivio de carga en A320)
- **ELAC:** ElevatorAileronComputer (Computador de alerón y elevador)
- **SEC:** Spoilers ElevatorComputer (Computador de elevador y spoilers)
- **FAC:** Flight AugmentationComputer (Computador de incremento de vuelo)
- **SFCC:** Slat / Flap Control Computer (Computador de control de slat / flap)
- **FCDC:** Flight Control Data Concentrators (Concentradores de datos de Control de Vuelo)
- **CFDS:** Centralized Fault Display System
- **ECAM:** Electronic Centralized Aircraft Monitor (Desarrollo del EICAS)
- **F/CTL:** Flight Controls (Controles de vuelo)
- **GBY:** Green Blue Yellow (Nombres de los sistemas hidráulicos)
- **AIL, ELEV, RUD, SPD & BRK:** Aileron, elevator, rudder, speed and break
- **CAPT & F/O:** Captain and first officer
- **INBD & OUTBD:** Inboard and outboard

BIBLIOGRAFÍA

➤ Libros

- Oñate E. Conocimientos del Avión, 6ª Edición.
- Oñate E. Tecnología Aeronáutica – Aerodinámica Práctica, Ed Paraninfo.
- Training Manual AIRBUS A320 – ATA 27 Controles de vuelo (ATA Spec. 104 Level 3)
- Training Manual BOEING 767 – ATA 27 Controles de vuelo
- Dale Crane. Aviation Maintenance Technician Series – Airframe, Volume 1: Structures Third Edition.

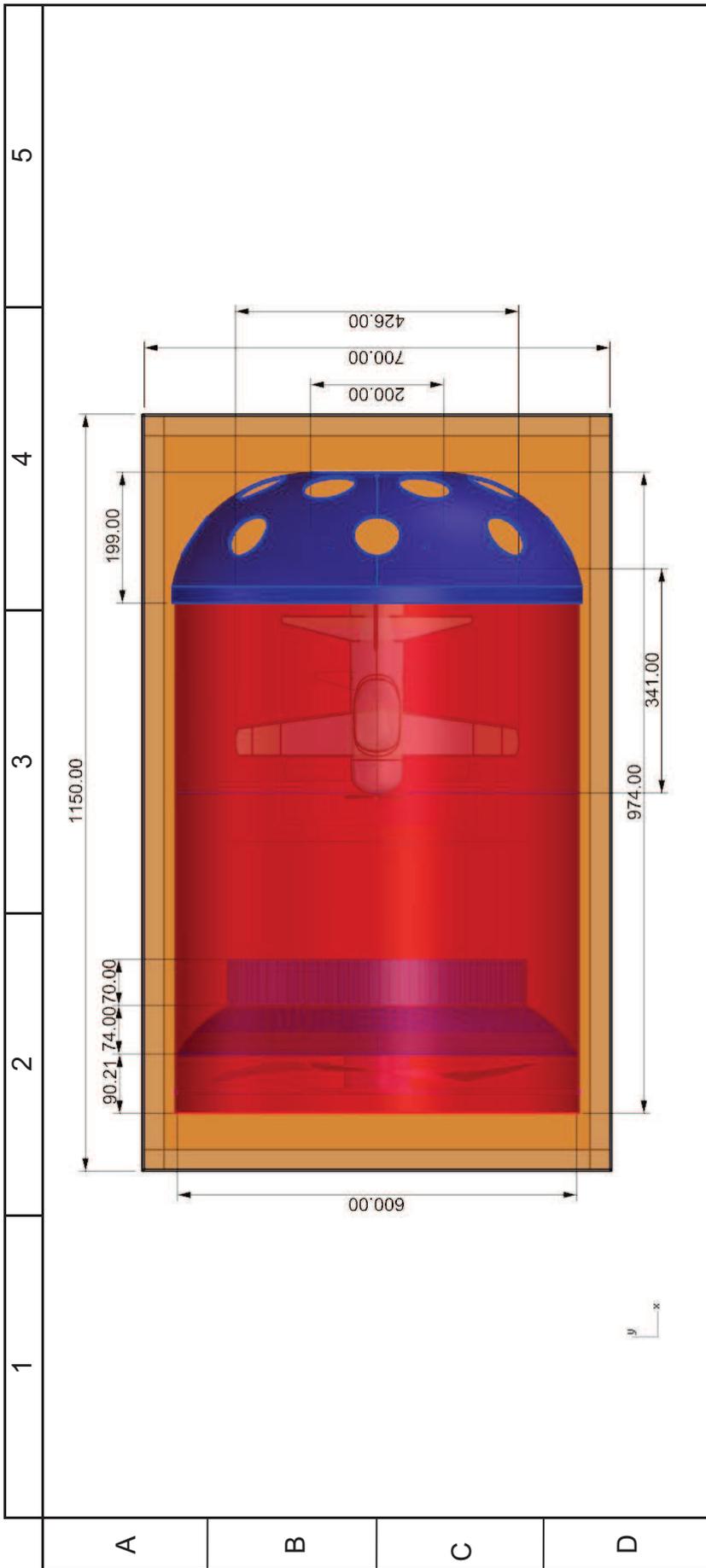
➤ Internet

- http://www.madrimasd.org/cienciaysociedad/feria/publicaciones/Feria5/25/CF_RJC_Tunelvientoaerog.pdf
- http://www.tryengineering.org/lang/spanish/lessons/windtunnels_sp.pdf
- <http://www.f1aldia.com/10650/tuneles-de-viento-i>
- <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/flujo-de-gases/tunel-de-viento/tunel-de-viento.html>
- http://www.asifunciona.com/aviacion/af_avion/af_avion12.htm
- http://www.oni.escuelas.edu.ar/2003/buenos_aires/62/tecnolog/mandos.htm
- http://www.hangar57.com/cg_centro_de_gravedad.html
- <http://fisica.laguia2000.com/fisica-mecanica/conceptos-de-aerodinamica>
- <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/conceptos-basicos-de-fluidos/clasificacion-del-flujo/clasificacion-del-flujo.html>
- <http://www.google.co.in/url?q=http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/conceptos-basicos-de-fluidos/clasificacion-del-flujo/clasificacion-del-flujo.htm>
- <http://www.manualvuelo.com/PBV/PBV13.html>
- http://mx.answers.yahoo.com/question/index?qid=20080220095357AAG88E_p
- <http://www.parkzone.com/Products/Default.aspx?ProdID=SPMAS2000>

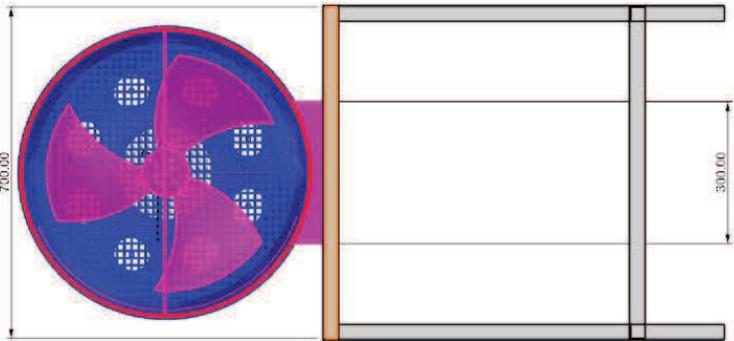
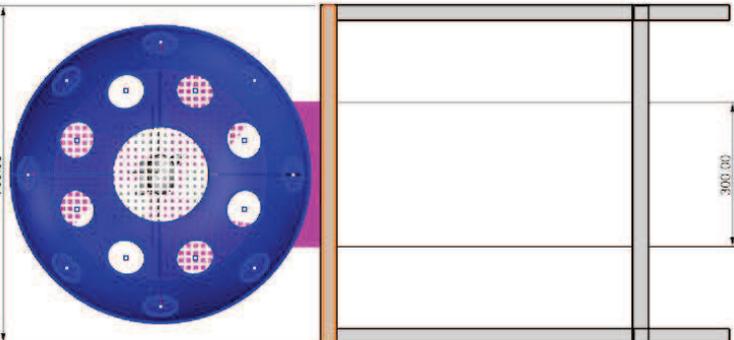
Anexos

Anexo A

PLANOS DEL PROTOTIPO A ESCALA EN CONTROLES DE VUELO

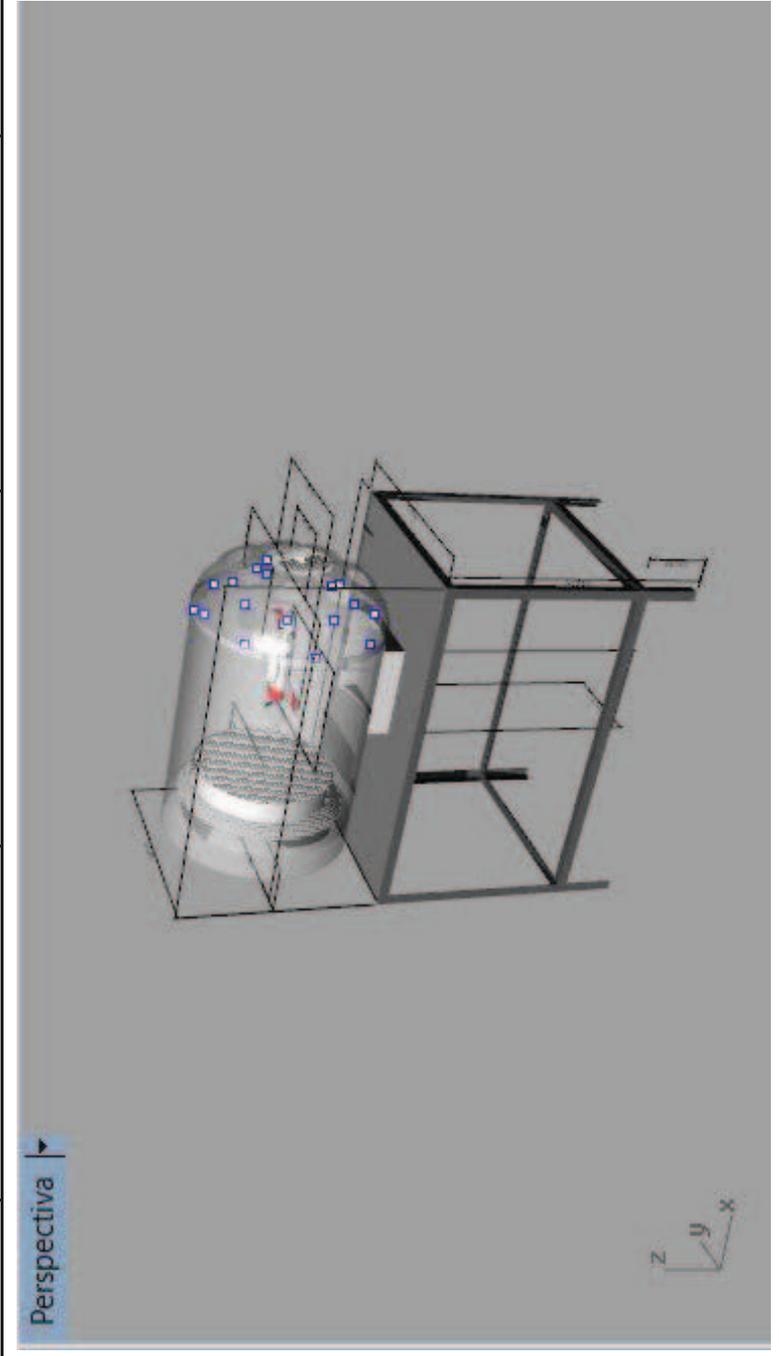


1		2		3		4		5	
A	B	C	D	<p>VISTA SUPERIOR DEL PROTOTIPO A ESCALA EN CONTROLES DE VUELO</p> <p>Escala: 1:10</p>					
		Fecha	Nombre	Firma					
		Dib. 27/08/2013	Sr. Olalla X.						
		Rev. 27/08/2013	Ing. Hebert A.						
		Apro. 27/08/2013	Ing. Hebert A.						
		ITSA							
		Mecánica Aeronáutica							
		Mención Motores				Diseño:001			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre						

	1	2	3	4	5
A					
B					
C					
D					

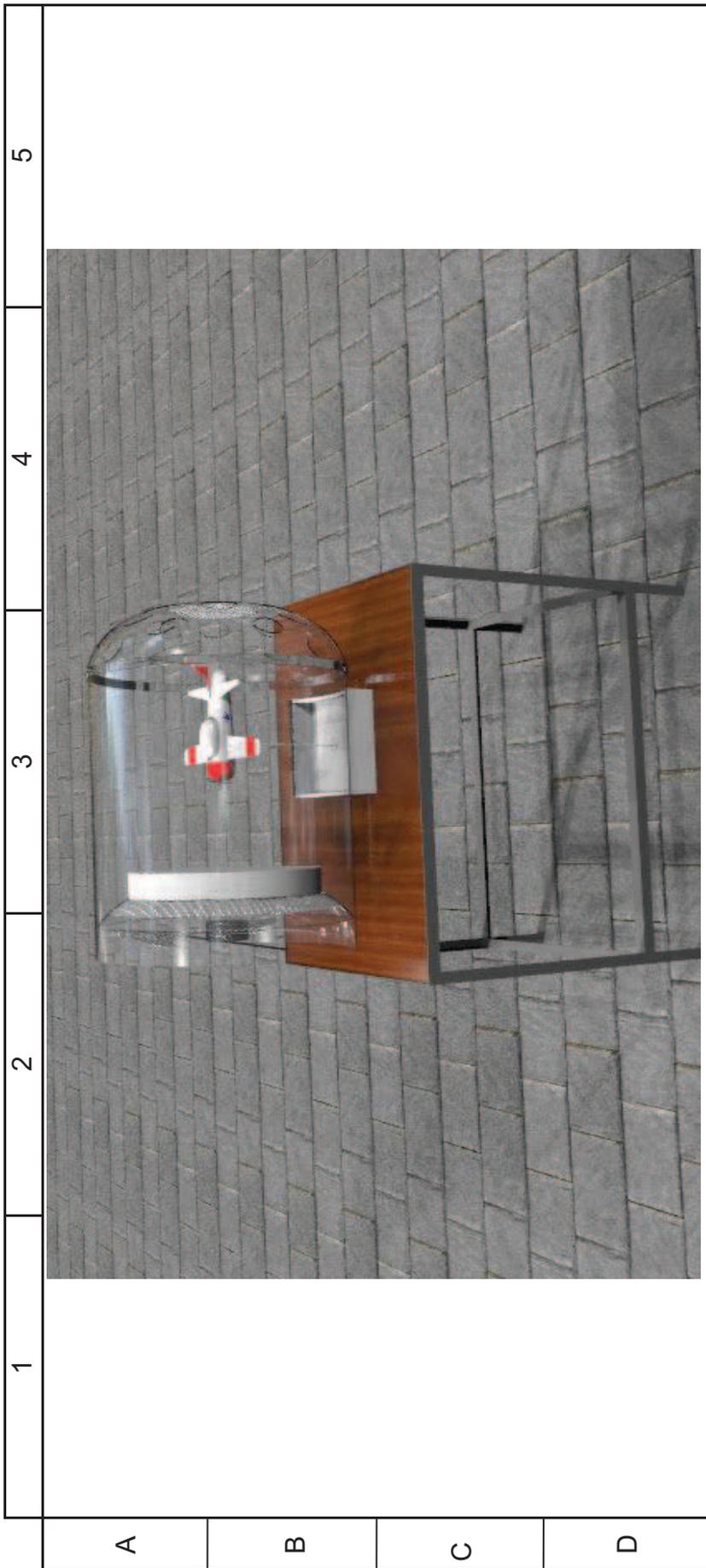
		Fecha		Nombre		Firma		Escala: 1:16	
	Dib.	27/08/2013	Sr. Olalla X.						VISTA LATERAL DEL PROTOTIPO A ESCALA EN CONTROLES DE VUELO
	Rev.	27/08/2013	Ing. Hebert A.						
	Apro.	27/08/2013	Ing. Hebert A.						
		ITSA		Mecánica Aeronáutica		Mención Motores		Diseño:001	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre						



1	2	3	4	5
A				
B				
C				
D				

	Fecha	Nombre	Firma	Escala: 1:27
Dib.	27/08/2013	Sr. Olalla X.		VISTA PERSPECTIVA DEL PROTOTIPO A ESCALA EN CONTROLES DE VUELO
Rev.	27/08/2013	Ing. Hebert A.		
Apro.	27/08/2013	Ing. Hebert A.		
	ITSA Mecánica Aeronáutica Mención Motores			Diseño:001
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	





Edición	Modificación	Fecha	Nombre	
Fecha	Nombre	Firma	PROTOTIPO A ESCALA EN CONTROLES DE VUELO EN 3D	Escala: 1:20
Dib.	27/08/2013	Sr. Olalla X.		
Rev.	27/08/2013	Ing. Hebert A.		
Apro.	27/08/2013	Ing. Hebert A.	ITSA Mecánica Aeronáutica Mención Motores	Diseño:001
				

Anexo B

MANUALES DE INSTRUCCIÓN

HOJA DE VIDA

DATOS PERSONALES

- NOMBRE: Xavier Esteban Olalla Viteri
- NACIONALIDAD: Ecuatoriana
- FECHA DE NACIMIENTO: 05 – Nov - 1991
- CÉDULA DE CIUDADANÍA: 172269692-7
- TELÉFONOS: 022476091, 0984489084
- CORREO ELECTRÓNICO: vito_olalla@hotmail.com
- DIRECCIÓN: Quito, Av Real Audiencia y de los Cerezos N66 - 207



ESTUDIOS REALIZADOS

ESTUDIOS PRIMARIOS

- Unidad Educativa FAE Quito – 17 de julio de 2003

ESTUDIOS SECUNDARIOS

- Colegio Técnico Experimental de Aviación Civil “COTAC”(Quito) - Título de Bachiller en Ciencias Especialidad Físico Matemático - 3 de julio de 2009
- Batallón de Comunicaciones No. 1 “RUMIÑAHUI” (Quito) - Aprobado Instrucción Militar– 18 de julio de 2009
- Ministerio de Educación y Dirección Provincial de Pichincha - Participación estudiantil en el campo de acción de: “EBCA y Educación Preventiva Uso Indebido de Drogas” - 2 de junio de 2009

ESTUDIOS SUPERIORES

- Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico “ITSA”

TÍTULOS OBTENIDOS

- Título de Bachiller en Ciencias Especialidad Físico Matemático – 3 de julio de 2009
- Suficiencia en el Idioma Inglés “ITSA”– 23 de agosto de 2011
- Tecnología en Mecánica Aeronáutica mención Motores

EXPERIENCIA PROFESIONAL O PRÁCTICAS PREPROFESIONALES

- Fuerza Aérea Ala de Transportes N°11 - 360 horas de prácticas en la escuadrilla del Hércules C-130
- Policía Nacional del Ecuador Servicio Aéreo Policial - 160 horas de prácticas en la sección de mantenimiento de aeronaves.
- Industria Aeronáutica del Ecuador (DIAF) - 280 horas de prácticas en la sección de mantenimiento del Boeing 737.
- Líneas Aéreas Nacionales del Ecuador (LAN) – 200 horas de prácticas en la sección de mantenimiento y línea de vuelo del Boeing 767 y Airbus A320.

CURSOS Y SEMINARIOS

- VI Jornada de Ciencias y Tecnologías ITSA - Latacunga Noviembre 2010
- Dirección General de Aviación Civil Ecuador - Conferencia Regional – La Próxima Generación de Profesionales en Aviación (NGAP) y “TRAINAIR PLUS” – Noviembre 2011

HOJA DE LEGALIZACIÓN DE FIRMAS

**DEL CONTENIDO DE LA PRESENTE INVESTIGACIÓN SE RESPONSABILIZA
EL AUTOR**

Xavier Esteban Olalla Viteri

DIRECTOR DE LA CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA

**Ing. Hebert Atencio Vizcaíno
SUBS. TÉC. AVC.**

Latacunga, Agosto 27 de 2013

CESIÓN DE DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Yo, XAVIER ESTEBAN OLALLA VITERI , Egresado de la carrera de Mecánica Aeronáutica mención Motores en el año 2013 con Cédula de Ciudadanía N°172269692-7, autor del Trabajo de Graduación CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO A ESCALA EN CONTROLES DE VUELO PARA EL APRENDIZAJE DE LOS ESTUDIANTES DE MECÁNICA AERONÁUTICA, cedo mis derechos de propiedad intelectual a favor del Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico. Para constancia firmo la presente cesión de propiedad intelectual.

Xavier Esteban Olalla Viteri

Latacunga, Agosto 27 de 2013