

UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Análisis Dinámico del Movimiento de un Avión Comercial y sus Mecanismos

AUTORES:

COLONIA LIZANO, JanFranco

FLORES VARGAS, Chalo Erikson

MONTERO TRUJILLO, Luis

NEGREIROS YAURI, JeanMark

VALENZUELA HIDALGO, Miguel

ASESOR

MENACHO LÓPEZ, Víctor Manuel

Huaraz, octubre del 2022

RESUMEN

En la presente investigación se analiza de manera dinámica el funcionamiento de un avión comercial, para lo cual se identifica las partes más importantes tales como: fuerzas que actúan en el vuelo, superficies de control, grupo moto propulsor, sistema hidráulico y tren de aterrizaje. Interpretamos el movimiento de estos componentes mecánicos que hacen posible la dinámica de estos sistemas y como interactúan, de manera cinemática y cinética.

El avión comercial mantiene su estado de movimiento por la interconexión dinámica de sus sistemas integrados, es así que se origina fuerza de sustentación, originado por las superficies de control como las fuerzas que actúan en el vuelo y la fuerza empuje, originado por los motores de reacción, asimismo el correcto funcionamiento de estos sistemas está ligado a un sistema hidráulico, que se encarga de lubricar y entregar potencia y un tren de aterrizaje que se manifiesta en el movimiento en tierra.

En la superficie del avión se van a presentar fuerzas las cuales son de vital importancia para poder entender su movimiento, una vez el avión empiece a ascender estas fuerzas se empiezan a manifestar, ahora bien estas fuerzas se pueden explicar de manera vectorial, en tanto a su análisis dinámico, los diversos factores que influyen en todo el cuerpo del avión son estudiados en esta investigación, también se ha realizado una simulación en conjunto, por parte del grupo para poder entender mediante un experimento sencillo las fuerzas que actúan en el ala del avión. Las superficies de control sirven para mantener en movimiento o estático al avión comercial, una de sus partes fundamentales son los flaps que sirven para poder frenar al avión durante el aterrizaje y como ángulo de ataque en el despegue. El grupo moto propulsor tiene como herramienta principal el motor de reacción el cual convierte el aire frío absorbido, mediante procesos en su interior en aire caliente, rápido y denso generando empuje en las alas, dando como resultado el movimiento del avión comercial por la ley de acción y reacción de Newton. El sistema hidráulico en esencia ayuda al funcionamiento de la mayoría de mecanismos tales como flaps, tren de aterrizaje sistema de frenos, etc. que no pueden ser operados por el piloto. Esto aprovechando la potencia que emana un fluido gracias a una bomba hidráulica para que al final se convierta la energía hidráulica en mecánica.

Como parte fundamental de la investigación aprenderemos a juzgar nuestro entorno de manera crítica, para desarrollar un pensamiento superior, dado que para un estudiante de ingeniería a quien va dirigido esta investigación es de vital importancia entender los principios fundamentales de un fenómeno de manera eficaz, favoreciendo el raciocinio y la competitividad.

ABSTRAC

In the present investigation, the operation of a commercial airplane is analyzed in a dynamic way, for which the most important parts are identical, such as: forces that act in flight, control surfaces, motor propulsion group, hydraulic system and landing gear. We interpret the movement of these mechanical components that make the dynamics of these systems possible and how they interact, kinematically and kinetically.

The commercial aircraft maintains its state of movement due to the dynamic interconnection of its integrated systems, which is how the lift force originates, originated by the control surfaces such as the forces that act in flight and the thrust force, originated by the aircraft engines. reaction, likewise the correct operation of these systems is linked to a hydraulic system, which is responsible for lubricating and delivering power and a landing gear that manifests itself in the movement of the plane on the ground.

Forces are going to appear on the surface of the plane which are of vital importance to be able to understand its movement, once the plane begins to ascend these forces begin to manifest, now these forces can be explained in a vectorial way, as long as its dynamic analysis, the various factors that influence the entire body of the plane are studied in this investigation, a simulation has also been carried out together, by the group to be able to understand, through a simple experiment, the forces that act on the plane's wing . The control surfaces serve to keep the commercial aircraft moving or static, one of its fundamental parts are the flaps that serve to slow down the aircraft during landing and as an angle of attack on takeoff. The main tool of the motor propulsion group is the reaction engine, which converts the cold air absorbed, through processes inside it, into hot, fast and dense air, generating thrust in the wings, resulting in the movement of the commercial aircraft by the law of Newton's action and reaction. The hydraulic system essentially helps the operation of most mechanisms such as flaps, landing gear, brake system, etc. that cannot be operated by the pilot. This takes advantage of the power that a fluid emanates thanks to a hydraulic pump so that in the end the hydraulic energy is converted into mechanical energy.

As a fundamental part of the investigation, we will learn to judge our environment critically, in order to develop superior thinking, given that for an engineering student to whom this investigation is directed, it is of vital importance to understand the fundamental principles of a phenomenon effectively, favoring reasoning and competitiveness.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo, tiene como objetivo describir el movimiento dinámico que existe en los componentes mecánicos y superficiales integrados en un avión comercial de manera cinética y cinemática, asimismo los principios físicos que hacen posible el vuelo. Para poder explicar e interpretar el trabajo de investigación, nos guiamos de trabajos locales, nacionales e internacionales realizados.

Detrás de un mecanismo, existen movimientos y procesos físico-químico; generados y controlados, de manera específica; lo que hace posible el funcionamiento de una máquina, mediante la interconexión del dinamismo de estos sistemas. En un avión comercial estos sistemas principales mecanizados son: las superficies de control, el grupo moto propulsor, tren de aterrizaje y sistema hidráulico; juntos hacen que el funcionamiento del avión sea óptimo.

El diseño aerodinámico en función del principio de Bernoulli genera sustentación, a su vez que los motores generan empuje en el avión, con lo cual se logra estabilidad y control durante el vuelo; manipulando los mecanismos del avión se logra aterrizar, despegar y volar.

Describiremos el movimiento y las ventajas que proporciona cada mecanismo del avión y cómo se involucran interna y externamente.

ÍNDICE

RESUMEN

ABSTRAC

INTRODUCCIÓN

CAPITULO I	1
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.1.1. Antecedente nacional.....	1
1.1.2. Antecedente internacional	1
1.2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	2
1.4. LIMITACIONES.....	3
1.5. OBJETIVOS	3
1.5.1. Objetivo General	3
1.5.2. Objetivos específicos.....	3
CAPITULO II.....	4
2. METODOLOGÍA.....	4
2.1. HIPÓTESIS.....	4
2.2. VARIABLES.....	4
2.2.1. Variable dependiente:	4
2.2.2. Variable independiente:	4
2.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	4
2.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
2.5. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	4
2.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	4
2.7. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	5
2.7.1. Terminologías:	5
CAPITULO III	6
3. MARCO TEÓRICO.....	6
3.1. BASES TEÓRICAS.....	6
3.1.1. Mecánica.....	6
3.1.2. Dinámica.....	6
3.1.3. Movimiento	6
3.1.4. Marco de referencia.....	6
3.1.5. Sistemas de coordenadas.....	7

3.1.6.	Movimiento en marcos de referencia.....	7
3.1.7.	Cinemática.....	7
3.1.8.	Cinética.....	12
3.1.9.	Mecanismos de transmisión del movimiento.....	13
3.1.10.	Mecanismos de transformación del movimiento.....	17
3.2.	BASES CONCEPTUALES.....	20
3.2.1.	Definición de un avión comercial.....	20
3.2.2.	Partes importantes del sistema motriz.....	21
CAPITULO IV.....		25
4.	DESCRIPCIÓN DEL MECANISMO.....	25
4.1.	FUERZAS QUE ACTUAN EN EL VUELO.....	25
4.1.1.	Sustentación.....	25
4.1.2.	Peso.....	30
4.1.3.	Resistencia.....	30
4.1.4.	Empuje o tracción.....	33
4.1.5.	Principio de Bernoulli.....	34
4.2.	SUPERFICIES DE CONTROL DE UN AVIÓN.....	35
4.2.1.	Ejes del avión.....	36
4.2.2.	Estabilidad y control.....	37
4.2.3.	Superficies de control primarias.....	37
4.2.4.	Superficies de control secundario.....	38
4.2.5.	Sixpaxs.....	41
4.3.	GRUPO MOTOPROPULSOR.....	46
4.3.1.	Funcionamiento.....	46
4.3.2.	Tipos de motores de reacción.....	50
4.3.3.	Motor de reacción tipo turbofán.....	51
4.3.4.	Partes principales y su funcionamiento.....	53
4.3.5.	Empuje generado.....	57
4.3.6.	Sistema de arranque.....	57
4.4.	SISTEMA HIDRÁULICO DE UN AVIÓN.....	58
4.4.1.	Conceptos previos.....	58
4.4.2.	Componentes del sistema hidráulico.....	61
4.4.3.	Requisitos generales de los sistemas hidráulicos.....	68
4.5.	TREN DE ATERRIZAJE.....	69
4.5.1.	Utilidad.....	69
4.5.2.	Características.....	69

4.5.3.	Tren de aterrizaje retráctil	70
4.5.4.	Partes	71
4.5.5.	Sistema de funcionamiento	71
4.5.6.	Amortiguación.	72
4.5.7.	Frenos.	74
4.5.8.	Tren retráctil.....	74
4.5.9.	Análisis de diseño.....	75
CAPITULO V		80
5.	ANÁLISIS CINÉTICO Y CINEMÁTICO (RESULTADOS).....	80
5.1.	FUERZAS DE VUELO.....	80
5.2.	SUPERFICES DE CONTROL	82
5.3.	GRUPO MOTOPROPULSOR	83
5.4.	SISTEMA HIDRAULICO.....	85
5.5.	TREN DE ATERRIZAJE.....	87
CAPITULO IV		91
6.	DISCUSIÓN.....	91
7.	CONCLUSIONES	93
8.	BIBLIOGRAFÍA	94

CAPITULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. ANTECEDENTES

1.1.1. Antecedente nacional

La principal ventaja de los helicópteros viene dada por el rotor, que proporciona sustentación sin que la aeronave se esté desplazando, lo que le permite realizar despegues y aterrizajes verticales sin necesidad de pista. La sustentación del rotor hace posible que pueda mantenerse volando en una zona de forma mucho más eficiente y pudiendo realizar tareas que una aeronave de ala fija no podría. La sustentación de las máquinas capaces de volar se realiza por medio de superficies llamadas alas. La capacidad de las alas para generar una sustentación se basa en el principio de Bernoulli y el efecto Venturi. En los helicópteros la velocidad se consigue mediante la rotación de las palas accionadas por un motor que genera una velocidad. Sin embargo, en los aviones la velocidad se consigue mediante las hélices o los reactores. Por lo tanto, para mantenerse en el aire, el avión necesita una velocidad de traslación, mientras que el helicóptero no precisa dicha velocidad porque la obtiene con el giro del rotor. El helicóptero es una aeronave que es sustentada y propulsada por «el resultado de unas fuerzas que se oponen a otras fuerzas, que pocos comprenden y mucho menos saben explicar». Centro de Gravedad: Durante el diseño de un helicóptero se estudia el reparto de pesos para conseguir que el centro de gravedad se halle en la vertical del centro del rotor.

Autor: (A.M. Meyer; H.S. Jhosmel; R.M. Luz; T.L. Wido. “Interpretación mecánica de un helicóptero”). Perú.2021.

1.1.2. Antecedente internacional

En el estudio de la dinámica de máquinas se considera a éstas compuestas por conjuntos móviles llamados mecanismos. Cuando se estudia el análisis y síntesis de mecanismos siempre se considera que el movimiento de los eslabones conductores se conoce, esto es, que la ley de movimiento del eslabón o barra motor es dato conocido. El movimiento de los eslabones conducidos se estudia en función del movimiento dado del conductor. Las fuerzas que actúan en los eslabones del mecanismo y las fuerzas que aparecen debido al movimiento de los eslabones, en el análisis y síntesis no se estudia. De esta manera en la cinemática la investigación del movimiento se lleva a cabo tomando en cuenta sólo la estructura de los mecanismos y las relaciones geométricas entre sus dimensiones.

El análisis dinámico de mecanismos y máquinas comprende varios problemas.

- ✓ El estudio de los efectos de las fuerzas externas, el peso de los eslabones, las fuerzas de fricción, las fuerzas másicas (de inercia). La acción de estas fuerzas se transmite a los eslabones del mecanismo y sus elementos componentes, tales como pares cinemáticos de diferentes tipos, a los apoyos fijos y a la bancada.
- ✓ El estudio de las medidas para disminuir los efectos de las fuerzas dinámicas resultantes durante el movimiento del mecanismo.
- ✓ El estudio del régimen de movimiento del mecanismo bajo la acción de fuerzas dadas.
- ✓ El establecimiento de métodos para abastecer los regímenes de movimiento del mecanismo.

Los primeros dos incisos se pueden considerar como el análisis de fuerzas en los mecanismos y es el primer problema de la dinámica. Los dos últimos son el segundo problema de la dinámica. En el análisis dinámico de mecanismos se pueden estudiar otra serie de problemas que poseen un significado técnico importante y es precisamente, la teoría de vibraciones en los mecanismos, la teoría del choque entre eslabones, etc. Estos se estudian en cursos especiales, pues para su solución se requiere usar los métodos de la teoría de la elasticidad y en este curso los problemas que se resuelven, generalmente es bajo la suposición de que los eslabones del mecanismo o máquina son absolutamente rígidos. El análisis dinámico de un mecanismo consiste en determinar las fuerzas externas desconocidas y las fuerzas de reacción resultantes en los pares cinemáticos durante el movimiento del mecanismo.

(P.M. Cándido; F.C. Juan; G.R. Iris; V.R. Erick; T.H. Ricardo. “Análisis dinámico de mecanismos y máquinas”). Mexico.2012.

1.2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El avión comercial es una máquina mecánica compleja, por lo cual es muy poco entendido como se genera su movimiento es así que nos planteamos la siguiente pregunta:

¿Cómo es el funcionamiento dinámico del avión comercial y sus mecanismos?

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El entendimiento del movimiento del avión y sus mecanismos que lo integran, son muy poco asimilados por la falta de estudios y poca información; por ello en la presente investigación nos interesamos en analizar el movimiento de manera dinámica de los componentes mecánicos que lo integran y las fuerzas superficiales que actúan sobre él, para que de esa manera se logre relacionar el movimiento cinemático y cinético de los sistemas con la teoría dinámica aprendida en el curso.

En la actualidad los aviones comerciales son de vital importancia para el transporte internacional y a largas distancias; con el propósito de transportar personas, cargas y ahorrar tiempo. Dicha actividad se realiza mediante el movimiento de la máquina llamada avión, el cual se obtiene por los movimientos internos, conectados y simultáneos, de sus sistemas mecánicos que lo conforman. Es así que es vital comprender de manera crítica estos movimientos ya que tienen una aplicación práctica en la vida real.

1.4. LIMITACIONES

- No se analizará a detalle los mecanismos de movimiento, por que el avión es un sistema muy complejo.
- La información recopilada no es técnica ni suficiente para describir el movimiento de avión.
- El estudio del movimiento del avión, se limita al entendimiento de la cinemática y cinética de sus componentes que lo integran.
- Los mecanismos explicados en la investigación no se aplicarán para otros tipos de aviones.
- La investigación no abarca el manejo de un avión.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo General

- ✓ Analizar el movimiento dinámico de un avión comercial y sus mecanismos de manera cinética y cinemática.

1.5.2. Objetivos específicos

- ✓ Explicar el principio de vuelo de un avión comercial.
- ✓ Describir e interpretar los movimientos en las superficies de control de un avión comercial.
- ✓ Describir e interpretar el funcionamiento dinámico del grupo moto propulsor de un avión comercial.
- ✓ Explicar el sistema hidráulico de un avión comercial y su movimiento.
- ✓ Describir e interpretar el movimiento del tren de aterrizaje de un avión comercial.

CAPITULO II

2. METODOLOGÍA

2.1. HIPÓTESIS

El movimiento dinámico de un avión comercial y sus mecanismos, puede ser descrito de manera cinemática y cinética.

2.2. VARIABLES

2.2.1. Variable dependiente:

Movimiento dinámico del avión comercial

2.2.2. Variable independiente:

Descripción cinética y cinemática

2.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación es descriptiva porque describiremos los movimientos cinética y cinemáticamente, de los mecanismos que integran al avión.

2.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación es no experimental-transversal, ya que las descripciones que se realizan, se basan sin la manipulación deliberada de variables y en los que solo se observan los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos.

2.5. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

El enfoque es cualitativo, porque se analiza de manera dinámica las características de un avión comercial.

2.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

- Revisión de documentos anteriores relacionados al tema de investigación que apoyen los objetivos.
- Observación de videos relacionados con el tema de investigación que puedan apoyar los objetivos.
- Discusión de los mecanismos entre los integrantes del grupo del curso de dinámica.
- Temas estudiados en el curso de Dinámica en la UNASAM semestre 2022-1.
- Documentos y videos relacionados a los mecanismos y diseño mecánico del avión comercial.

2.7. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.7.1. Terminologías:

- **Maquina:** Es una combinación de cuerpos rígidos, conectados por medio de articulaciones que les permiten un movimiento relativo definido y son capaces de transmitir o transformar energía. Una máquina siempre debe ser abastecida con energía de una fuente externa. Su utilidad consiste en convertir la energía suministrada en energía mecánica.
- **Mecanismo:** Es una combinación de cuerpos rígidos, conectados por medio de articulaciones que les permiten un movimiento relativo definido, enfocado a la transformación del movimiento. Su objetivo es lograr un movimiento deseado además de transmitir potencia, por cual estará dispuesto a realizar un trabajo útil.
- **Estructura:** Es una combinación de cuerpos rígidos resistentes conectados por medio de articulaciones, pero cuyo propósito no es efectuar algún trabajo ni transformar el movimiento.
- **Viento relativo:** Es el flujo de aire que produce el avión al desplazarse. El viento relativo es siempre paralelo a la trayectoria de vuelo y de dirección opuesta. Su velocidad es relativa del avión con respecto a la velocidad de la masa de aire en que se mueve.
- **Fan o ventilador:** Este situado al frente del motor de reacción (turbofán), es un compresor de mayor tamaño que los demás, lo que permite dividir el aire entrante en dos flujos:
 - ✓ Flujo primario: Pasa por las ruedas compresoras y por la cámara de combustión.
 - ✓ Flujo secundario: Rodea al núcleo del motor.

El 80% de la masa de aire que entra en el motor, pasa al rededor del núcleo (flujo secundario).
El Fan proporciona al rededor del 70%80% del empuje del motor.
- **Amortiguación:** El sistema de amortiguación tiene como finalidad disminuir la carga que supone la toma de tierra durante el aterrizaje, así como la rodadura sobre terrenos irregulares, evitando el deterioro de la estructura del avión a la vez que aporta comodidad y seguridad a la tripulación.
- **Ejes del avión:** Cualquier aeronave es capaz de rotar alrededor de tres ejes perpendiculares entre sí, cuyo punto de intersección está situado sobre su centro de gravedad; son el eje transversal (o lateral), el longitudinal y el vertical.
- **Sistema de hidráulico:** Los sistemas hidráulicos son procesos que utilizan fluidos sometidos a ciertas presiones para accionar los componentes mecánicos o maquinarias que utilizan las fábricas, lo deben de hacer de forma controlada y es por ese motivo que la hidráulica es parte esencial del sector industrial. Es preciso mencionar que la hidráulica “significa la creación de fuerzas y movimientos mediante fluidos sometidos a presión. Los fluidos sometidos a presión son el medio para la transmisión de energía”.

CAPITULO III

3. MARCO TEÓRICO

3.1. BASES TEÓRICAS

3.1.1. Mecánica

Es una teoría científica que estudia el movimiento de los cuerpos y sus causas, o bien el equilibrio, es decir, la falta de movimiento, todo esto respecto a un marco de referencia previamente determinado. (Menacho Lopez-2022)

3.1.2. Dinámica

Es parte de la mecánica que estudia el desplazamiento de los cuerpos que tienen movimiento acelerado (directa e inversa) teniendo lugar en el espacio y en el tiempo, respecto a otro, llamado marco de referencia, esta forma de movimiento es la más simple entre la gran diversidad de formas de movimiento del mundo material y se divide en: cinemática y cinética. (Menacho Lopez-2022).

3.1.3. Movimiento

Es un cambio de la posición de un cuerpo a lo largo del tiempo respecto de un sistema de referencia. Su estudio se puede realizar a través de la cinemática o la cinética. En función de la elección del sistema de referencia quedarán definidas las ecuaciones del movimiento, las cuales determinarán la posición, velocidad y la aceleración del cuerpo en cada instante de tiempo. Todo movimiento puede representarse y estudiarse mediante gráficas. Las más habituales son las que representan el espacio, la velocidad o la aceleración en función del tiempo.

3.1.4. Marco de referencia

Un Marco de referencia corresponde a un cuerpo rígido (sistema o lugar del espacio generadas por él) desde el cual se puede describir el movimiento, relacionado con el concepto de posición de la partícula (Menacho Lopez-2022).

El primer paso en el estudio del movimiento es el establecimiento de un marco de referencia. El mismo nos ayuda a establecer parámetros relacionados con la localización en el espacio. Por ejemplo, en la descripción del movimiento de un objeto requiere la descripción de la posición del objeto. El marco de referencia inercial y marco de referencia móvil son los marcos de referencia que nos permiten hacer el estudio del movimiento.

3.1.5. Sistemas de coordenadas

Es un conjunto de valores que permiten definir la posición de cualquier punto de un espacio vectorial o sea es una herramienta matemática que no afecta el fenómeno físico y se usa para calcular los parámetros físicos. (Menacho Lopez-2022).

3.1.6. Movimiento en marcos de referencia

El movimiento de un cuerpo o una partícula depende del observador y del marco de referencia en donde se encuentre, por lo tanto, se analiza el movimiento en los marcos de referencia fijo o tierra y el marco de referencia móvil.

Un Marco de referencia se identifica usualmente por el material que constituye el cuerpo rígido de referencia (por ejemplo: La Tierra, el Sol, un edificio, el bastidor de un camión, etc.), pero el marco está en realidad compuesto por todos sus puntos materiales "más" los puntos generados por él, llamado extensión rígida del cuerpo (por ejemplo: los puntos de la línea central de un tubo recto, se toman como puntos del tubo, por ser extensión rígida de él). (Menacho López, 2020)

- **Marco de referencia inercial.**

Marco donde el observador es extensión rígida, escogido para hacer sus estudios (Menacho Lopez-2022).

- **Marco de referencia móvil**

Los marcos móviles nos ayudarán a explicar el movimiento desde otro punto de observación, y será nuestro aliado en aquellos marcos donde no se pueda explicar fácilmente el movimiento, ayudándonos a descomponer el movimiento y explicar físicamente dicho movimiento.

3.1.7. Cinemática

Llamado, a veces, geometría del movimiento, es la que relaciona los aspectos geométricos del movimiento con consideraciones de espacio (el punto, la línea, la superficie y el volumen) y tiempo, en un marco de referencia en particular; sin considerar las causas que originan el movimiento. En la Cinemática todo marco de referencia tiene la misma importancia, por lo que el concepto absoluto no existe, ya que el estudio del movimiento en la cinemática, como se explicó, es producto de las relaciones geométricas con los conceptos de tiempo y espacio, sin tener en cuenta las Leyes de Newton y Euler (Menacho López, 2022).

3.1.7.1. Cinemática de partículas

- **Partícula.** Es un modelo matemático representativo de un sistema (cuerpo) cuyas dimensiones y orientación en el espacio, son despreciables en la descripción particular de su movimiento. Así, este modelo corresponde al concepto de punto euclidiano, añadiéndole el concepto de materia, sin considerar su distribución. Sin masa en Cinemática, con masa en Cinética. (Menacho Lopez-2022).
- **Espacio.** Se refiere simplemente al universo tridimensional en que vivimos o sea es la región geométrica ocupada por los cuerpos, ya que nuestra experiencia diaria, nos da una noción intuitiva del espacio y de los puntos de él. (Menacho Lopez-2022).
- **Tiempo.** El tiempo es una magnitud física para medir el intervalo de ocurrencia de eventos. El tiempo es considerada igual para todo marco de referencia, si se estudian a velocidades pequeñas en comparación al de la velocidad de la luz.
- **Trayectoria de la partícula.** Es la línea en el espacio de los puntos de (marco de referencia previamente escogido), que ocupa sucesivamente en el transcurso del tiempo. Cuando una partícula se mueve por el espacio en cada instante ocupará una posición, que irá cambiando de forma continua con el tiempo (Menacho Lopez-2022).
- **Movimiento en coordenadas.** Es una herramienta muy útil para estudiar el movimiento de una partícula, las coordenadas utilizadas en dicho estudio son: Coordenadas cartesianas, Coordenadas cilíndricas, Coordenadas esféricas, Coordenadas Natural. Las coordenadas polares son utilizadas en el plano y las ecuaciones de movimiento resultarían de las ecuaciones de movimiento resultantes de las coordenadas cilíndricas.

3.1.7.2. Cinemática del cuerpo rígido

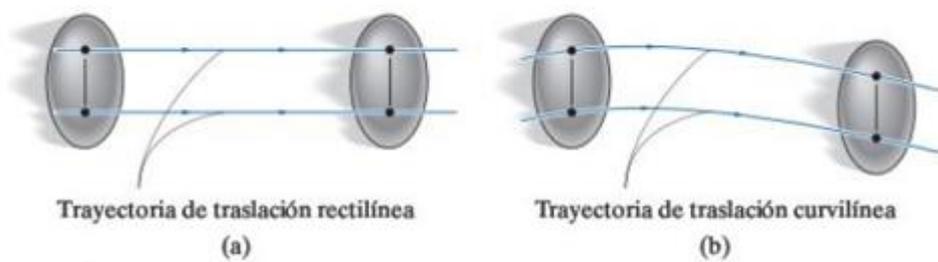
- **Cuerpo rígido.** Se llama «Cuerpo rígido» a una agrupación, usualmente continua, de partículas con una propiedad fundamental: La distancia entre dos partículas cualesquiera del cuerpo rígido permanece invariable; es decir, constante, de esta manera se conserva la forma geométrica del sistema y la distribución espacial de su masa; por ende, el ángulo que forman la unión de tres puntos no colineales del cuerpo es constante; es decir, un cuerpo rígido no se deforma. (Menacho Lopez-2022)

- **Tipos de movimiento del cuerpo rígido**

- ✓ **Movimiento de Traslación**

Es el desplazamiento según el cual cada partícula del cuerpo rígido experimenta el mismo desplazamiento vectorial respecto al marco de referencia. (Menacho Lopez-2022).

Este movimiento ocurre cuando la línea en el cuerpo permanece paralela a su orientación original durante todo el movimiento. (Hibbeler, 2010).



Fuente: (Hibbeler, 2010)

Figura N°01: Traslación de un cuerpo rígido.

- ✓ **Rotación alrededor de un eje fijo:**

Es el desplazamiento según el cual todas las partículas del cuerpo rígido situadas sobre la recta permanecen fijas en y cualquier partícula de, que no esté sobre la recta se moverá de tal manera de tal manera en, que su distancia medida a partir de cualquier punto situada sobre la recta permanecerá invariable. La trayectoria en de cada partícula es un círculo o un arco de círculo. Los planos que contienen la trayectoria de cada partícula constitutiva de son paralelas. (Menacho Lopez-2022)

La cinemática y la dinámica de rotación alrededor de un eje fijo de un cuerpo rígido son matemáticamente mucho más simples que las de la rotación libre de un cuerpo rígido; son completamente análogas a las del movimiento lineal a lo largo de una sola dirección fija, lo que no es cierto para la rotación libre de un cuerpo rígido. Las expresiones de la energía cinética del objeto, y para las fuerzas en las partes del objeto, también son más simples para la rotación alrededor de un eje fijo, que para el movimiento de rotación genera.

“Cuando un cuerpo rígido gira alrededor de un eje fijo, todas las partículas, excepto las que queda en el eje de rotación, se mueven a lo largo de trayectorias circulares”.
(Hibbeler, 2010)



Fuente: (Hibbeler, 2010)

Figura N°02: Rotación de un cuerpo rígido.

✓ **Movimiento general en el plano**

Se da si el cuerpo rígido tiene un desplazamiento de traslación de sus partículas y rotación alrededor de un eje (que pasa por el punto base o conveniente).

Un cuerpo es representado en un plano, cuando todas las partículas del cuerpo rígido se mueven dentro de planos paralelos al plano de referencia, o sea cuando las partículas del cuerpo rígido se mantienen a una distancia constante al plano de referencia. Se acostumbra tomar al plano de referencia aquel que pase por el centro de masa del cuerpo rígido.
(Menacho Lopez-2022).

El cuerpo se encuentra en movimiento general en plano si realiza movimientos de rotación y de traslación al mismo tiempo.



Fuente: (Hibbeler, 2010)

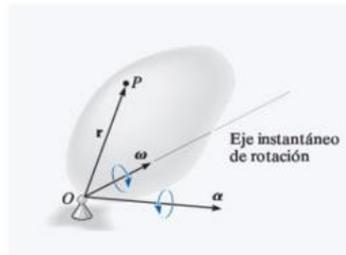
Figura N°03: Movimiento general en el plano de un cuerpo rígido.

✓ **Movimiento de rotación alrededor de un punto fijo**

Es el desplazamiento según el cual cada partícula del cuerpo rígido se mueve en de tal manera que su distancia medida a partir del punto fijo en es invariable. La trayectoria en de cada partícula se conservará sobre una superficie esférica y todas las superficies esféricas serán

concéntricas. Además, la dirección de la velocidad angular del cuerpo pasará siempre por el punto fijo. (Menacho Lopez-2022).

Cuando un cuerpo gira alrededor de un punto fijo O , entonces los puntos en el cuerpo siguen una trayectoria que queda en la superficie de una esfera con su centro en O . (Hibbeler- 2010).

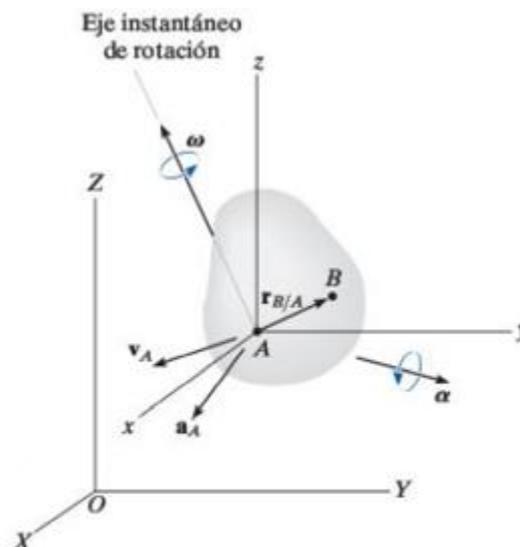


Fuente: (Hibbeler, 2010)

Figura N°04: Movimiento de rotación alrededor de un punto fijo de un cuerpo rígido.

✓ Movimiento general en el espacio

Se da si el cuerpo tiene un desplazamiento de traslación de sus partículas, más una rotación alrededor de un eje (instantáneo) o un punto instantáneo (Menacho López, 2020).



Fuente: (Hibbeler, 2010)

Figura N°05: Movimiento general en el espacio de un cuerpo rígido.

3.1.8. Cinética

Es la que relaciona las fuerzas y momentos con el movimiento de tal manera, que se pueda predecir los efectos de estos, en un marco de referencia predeterminado. En la Cinética si tiene importancia el marco que elegimos, ya que las leyes de Newton y Euler solo son válidas en marcos inerciales, llamados absolutos. estas leyes son válidas en aquellos marcos donde la velocidad de estudio con respecto a ese marco sean pequeñas comparadas al de la Luz (Menacho López, 2020).

3.1.8.1. Cinética de partículas y de centros de masa

Los cuerpos que se observan a simple vista están formados por un gran número de partículas, macroscópicas, atómicas o subatómicas. Sólo en ciertos casos es válida la simplificación que supone el modelo de la masa puntual. En otros casos, por el contrario, será necesario considerar el sistema como si estuviese formado por varias partículas.

- **Leyes de Newton**

Son leyes enunciadas por Newton, y consideradas como las más importantes de la mecánica clásica y son tres: la ley de inercia, la relación entre fuerza y aceleración y la ley de acción y reacción. Newton planteó que todos los movimientos se atienen a estas tres leyes principales, formuladas en términos matemáticos para estudiar el movimiento.

- **Leyes de Euler**

Las leyes del movimiento de Euler son ecuaciones de movimiento que extienden las leyes del movimiento de Newton para el movimiento de una partícula puntual a un cuerpo rígido.

- **Sistema de partículas**

En mecánica consideramos un sistema de partículas como un conjunto de N partículas que se mueven por separado, si bien interactúan entre sí y están sometidos a fuerzas externas.

3.1.8.2. Cinética de cuerpo rígido en movimiento plano

Se aplica las Leyes de Euler; la primera Ley gobierna el movimiento del centro de masa, que representa al movimiento de traslación del cuerpo y la segunda Ley gobierna el movimiento rotacional del cuerpo rígido, en términos de la cantidad del movimiento angular (momento cinético, ímpetu angular o momentum angular), esta cantidad incluye los momentos y productos de inercia de masa del cuerpo, y su movimiento angular.

3.1.9. Mecanismos de transmisión del movimiento

Los mecanismos de transmisión del movimiento únicamente transmiten el movimiento a otro punto, sin transformarlo. Por tanto, si el movimiento es lineal a la entrada, seguirá siendo lineal a la salida; si el movimiento es circular a la entrada, seguirá siendo circular a la salida.

Son mecanismos que transmiten el movimiento, fuerza y potencia de un punto a otro sin cambiar la naturaleza del movimiento, pueden ser de dos tipos:

3.1.9.1. Mecanismos de transmisión lineal

Tanto el elemento de entrada como el de salida tienen movimiento lineal. Los más comunes son los siguientes:

- ✓ **Palanca:** es un sistema de transmisión lineal. La palanca es una barra rígida que gira en torno a un punto de apoyo o fulcro. En un punto de la barra se aplica una fuerza F , con el fin de vencer una resistencia R .
- ✓ **Sistema de poleas (Polipasto):** una polea es una rueda con una ranura que gira alrededor de un eje por la que se hace pasar una cuerda que permite vencer una resistencia R de forma cómoda aplicando una fuerza F . De este modo podemos elevar pesos hasta cierta altura. Es un sistema de transmisión lineal pues el movimiento de entrada y salida es lineal. Tenemos cuatro posibles casos.
- ✓ **Polea fija:** Como se entiende una polea fija permanecerá inmóvil con respecto al marco de referencia inercial.

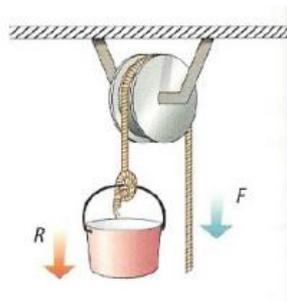


Figura N°06: Polea fija(Canarias, 2013)

- ✓ **Polea móvil:** Está conformado por un conjunto de poleas en la cual una permanecerá fija y las otras se moverán por la aplicación de alguna fuerza a la cuerda que comunica a las poleas.

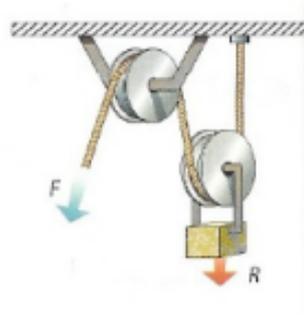


Figura N°07: Polea móvil (Canarias, 2013)

3.1.9.2. Mecanismos de transmisión circular

Tanto el elemento de entrada como el de salida tienen movimiento circular. La principal utilidad de este tipo de mecanismos radica en poder aumentar o reducir la velocidad de giro de un eje tanto como se desee. Por ejemplo: el motor de una lavadora gira a alta velocidad, pero la velocidad del tambor que contiene la ropa, gira a menor velocidad. Es necesario, pues, este tipo de mecanismo. Para desempeñar su misión, las máquinas disponen de partes móviles encargadas de transmitir la energía y el movimiento de las máquinas motrices a otros elementos. Estas partes móviles son los elementos transmisores, que pueden ser directos e indirectos. (Canarias, 2013)

Los más comunes son los siguientes:

- ✓ **Transmisión por correa:** Es un mecanismo que permite transmitir un movimiento circular entre dos ejes situados a cierta distancia.

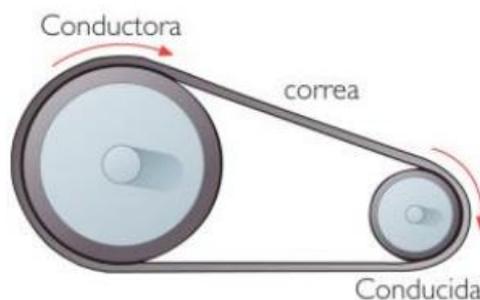


Figura N°08: Trasmisión por correa (Canarias, 2013)

- ✓ **Ruedas de fricción:** Son elementos de máquinas que transmiten un movimiento circular entre dos árboles de transmisión gracias a la fuerza de rozamiento entre dos ruedas que se encuentran en contacto directo. A este tipo de transmisión también se le conoce como transmisión por fricción.

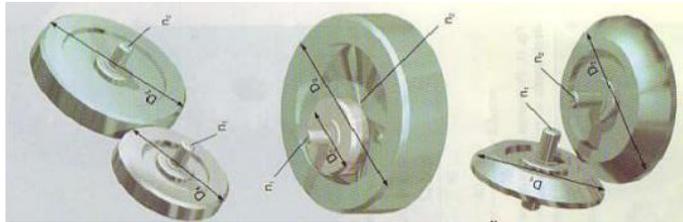


Figura N°09: Ruedas de fricción (Canarias, 2013)

- ✓ **Engranajes:** Los engranajes, se usan para transmitir potencia. Sus dientes engranes se perfilan de modo que impartan velocidad constante al engrane impulsado, cuando el engrane impulsor gira a velocidad angular constante (ver figura del ejemplo de engranajes rectos de ejes fijos). El tamaño de los dientes de todos los engranajes debe ser igual. Los más pequeños giran a mayor velocidad, de modo similar a las ruedas y a las poleas. Existen distintos tipos de engranajes en función de la forma de sus dientes.

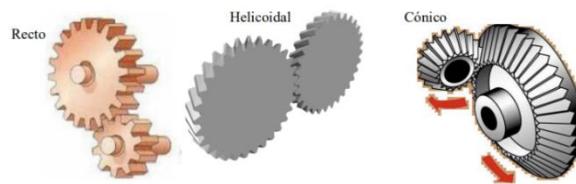


Figura N°10: Engranajes (Canarias, 2013)

- ✓ **Tornillo sinfín:** Se trata de un tornillo conectado al eje motriz que se engrana a una rueda dentada (corona) conectada al eje conducido. El movimiento circular se transmite del tornillo a la corona por empuje. Por cada vuelta del tornillo sinfín acoplado al eje motriz, la rueda dentada acoplada al eje de arrastre gira un diente. Este sistema tiene una relación de transmisión muy baja, es decir, es un excelente reductor de velocidad. Se emplea por ejemplo en las clavijas que tensan las cuerdas de las guitarras. El elemento motriz es el tornillo, nunca al revés, el sistema no es reversible. La relación de transmisión en este sistema es: $r = 1 / z$ siendo z el número de dientes de la rueda.

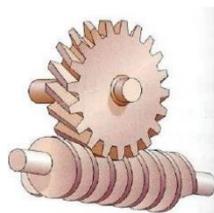


Figura N°11: Tornillón sinfin (Canarias, 2013)

- ✓ **Trenes de poleas:** Un tren de poleas con correa consiste en la combinación de más de dos poleas.

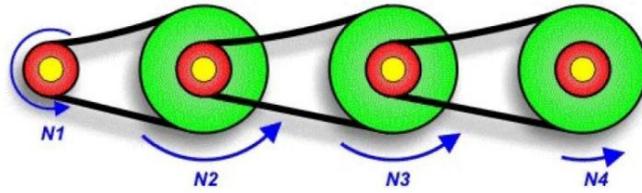


Figura N°12: Trenes de poleas (Canarias, 2013)

- ✓ **Trenes de engranajes:** Los engranajes también pueden combinarse formando un tren de engranajes con la ventaja que a diferencia del tren de poleas ocupan mucho menos espacio.

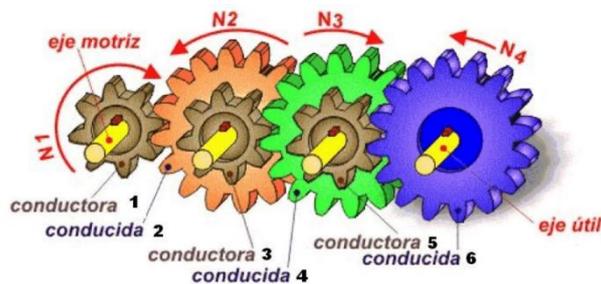


Figura N°13: Trenes de engranajes (Canarias, 2013)

- ✓ **Engranajes con cadenas:** Este sistema de transmisión consiste en dos ruedas dentadas de ejes paralelos, situadas a cierta distancia la una de la otra, y que giran a la vez por efecto de una cadena que engrana a ambas. La relación de transmisión se calcula como en el caso de los engranajes.

$$r = \frac{n_2}{n_1} = \frac{z_2}{z_1}, \quad z: \# \text{ de dientes}, \quad n: \text{velocidad de la rueda dentada.}$$

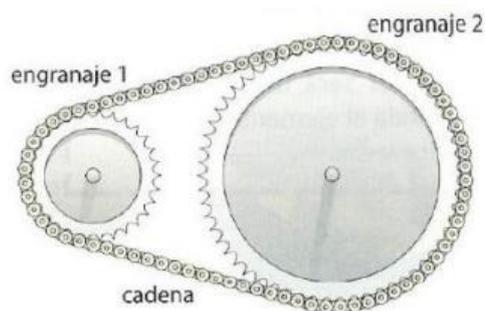


Figura N°14: Engranajes con cadenas (Canarias, 2013)

3.1.10. Mecanismos de transformación del movimiento

Este tipo de mecanismos transforman un movimiento circular en uno lineal, o a la inversa. Pueden ser de dos tipos:

3.1.10.1. Mecanismos de transformación circular en lineal o a la inversa

El elemento de entrada tiene movimiento circular, mientras que el elemento de salida tiene movimiento lineal, o a la inversa. Entre estos mecanismos están:

- ✓ **Torno:** Es un cilindro que consta de una manivela que lo hace girar, de forma que es capaz de levantar pesos con menos esfuerzo.

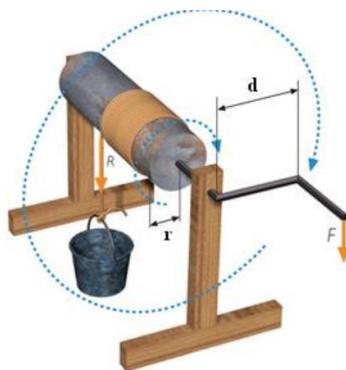


Figura N°15: Torno (Canarias, 2013)

- ✓ **Piñón – cremallera:** Este sistema transforma el movimiento circular en rectilíneo por medio de dos elementos dentados: un piñón que gira sobre su propio eje y una barra dentada denominada cremallera. Los dientes pueden ser rectos o helicoidales. Cuando la rueda dentada gira, la cremallera se desplaza con movimiento rectilíneo, se trata de un mecanismo reversible. Se utiliza en columnas de taladradoras, sacacorchos, direcciones de automóviles, etc.

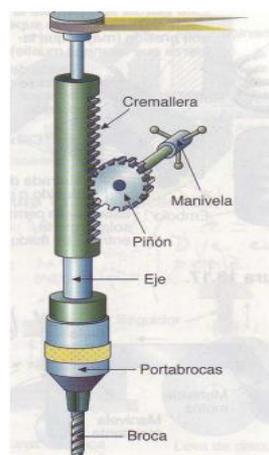


Figura N°16: Piñón (Canarias, 2013)

- ✓ **Tornillo – tuerca:** Este sistema sirve como elemento de unión entre dos o más piezas. Pero, además posee unas características que le permiten que se pueda utilizar para transmitir el movimiento. Se compone de una varilla roscada y una pieza con un agujero roscado de la misma métrica o medida. Al girar la varilla, permaneciendo fija la tuerca, hace que esta última se desplace en sentido longitudinal del eje, con lo que se consigue transformar un movimiento circular uniforme en otro lineal. También se trata de un mecanismo reversible. Un parámetro clave en este sistema es el paso, que es la distancia en milímetros entre vuelta y vuelta.

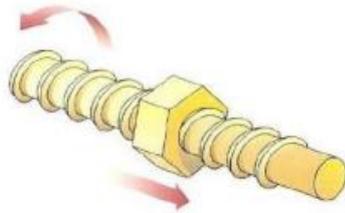


Figura N°17: Tornillo-tuerca (Canarias, 2013)

- ✓ **Sistema biela – manivela:** Está formado por una manivela y una barra denominada biela. Ésta se encuentra articulada por un extremo con dicha manivela (el punto B) y, por el otro, con un elemento que describe un movimiento alternativo (el punto A). Al girar la rueda, la manivela OB transmite un movimiento circular a la biela AB que experimenta un movimiento de vaivén. Este sistema también funciona a la inversa, es decir, transforma un movimiento rectilíneo alternativo de vaivén en un movimiento de rotación. Su importancia fue decisiva en el desarrollo de la locomotora de vapor, y en la actualidad se utiliza en motores de combustión interna, limpiaparabrisas, máquinas herramientas, etc.

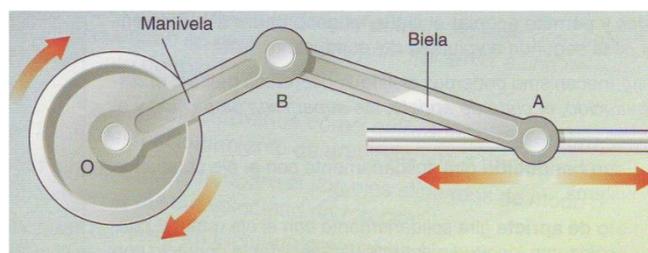


Figura N°18: Sistema biela – manivela (Canarias, 2013)

- ✓ **Cigüeñal:** Es un sistema compuesto por la unión de múltiples manivelas en un mismo eje acopladas a sus correspondientes bielas. Transforma un movimiento circular en los movimientos alternativos de vaivén desacompasados de las diferentes bielas. También puede transformar los movimientos de vaivén desacompasados de las diferentes bielas en un movimiento circular. Los

cigüeñales son empleados en todo tipo de mecanismos que precisen movimientos alternativos sincronizados como por ejemplo los motores de los coches.

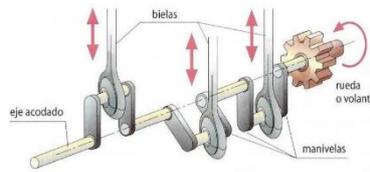


Figura N°19: Cigüeñal (Canarias, 2013)

- ✓ **Excéntrica:** Es una rueda que tiene una barra rígida unida en un punto de su perímetro. Su eje de giro no coincide con su eje geométrico, por lo que transforma el movimiento circular en rectilíneo alternativo.

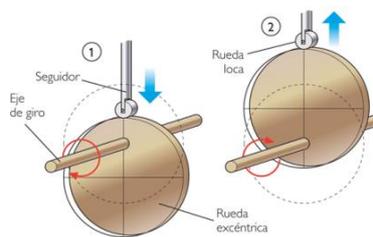


Figura N°20: Excéntrica (Canarias, 2013)

- ✓ **Leva:** Una leva es un elemento mecánico que va sujeto a un eje y tiene un contorno con forma especial. De este modo, el giro del eje hace que el perfil o contorno de la leva toque, mueva, empuje o conecte una pieza conocida como seguidor. Permite obtener un movimiento alternativo, a partir de uno circular; pero no nos permite obtener el circular a partir de uno alternativo (o de uno oscilante). Es por tanto un mecanismo no reversible. Este mecanismo se emplea en: motores de automóviles (para la apertura y cierre de las válvulas), programadores de lavadoras (para la apertura y cierre de los circuitos que gobiernan su funcionamiento), carretes de pesca (mecanismo de avance-retroceso del carrete) etc.

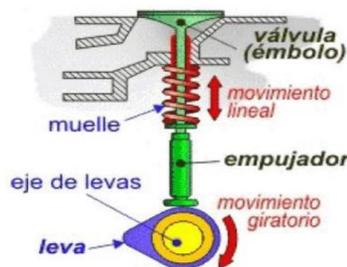


Figura N°21: Leva (Canarias, 2013)

3.2. BASES CONCEPTUALES

3.2.1. Definición de un avión comercial

Según la definición de la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional), un avión es un Aerodino propulsado por motor, que debe su sustentación en vuelo principalmente a reacciones aerodinámicas ejercidas sobre superficies que permanecen fijas en determinadas condiciones de vuelo.

Un avión comercial o avión de línea es un avión, generalmente grande, usado para transportar pasajeros y su equipaje. Estos aviones están operados por aerolíneas. Aunque la definición puede cambiar de país a país, un avión de línea se define típicamente como un avión para transportar múltiples pasajeros o carga en servicio comercial.

Los aviones comerciales con mayor capacidad son los aviones de fuselaje ancho. Estos aviones generalmente contienen un doble pasillo que recorre todo el aparato desde el morro hasta la cola. El uso de este tipo de aeronaves está normalmente reservado a vuelos de larga distancia entre centros de conexión.

Los aviones usados en el servicio regular de transporte deben poseer un mínimo de dos motores y contar con determinados instrumentos de seguridad como transmisores y receptores de radio, sistemas alternativos de extensión del tren de aterrizaje, etc. El tamaño, potencia y capacidad de carga de los aviones comerciales aumentan constantemente. Para las grandes líneas mundiales se usan aviones de reacción de gran autonomía y vuelan a velocidades supersónicas. En la actualidad se construyen aviones comerciales de transporte con una capacidad de hasta 600 pasajeros.



Figura N°22: Avión volando.

3.2.2. Partes importantes del sistema motriz

Si hablamos únicamente del vuelo y de los elementos que hacen que un avión despegue, vuelo y aterrice, no podemos decir que haya partes más importantes que otras, ya que cada elemento está concienzudamente pensado para una función específica. Vamos a conocer las funciones de las principales partes de un avión comercial:

3.2.2.1. Fuselaje

Es la estructura principal del avión y su función principal es la de albergar en su interior la cabina de pasajeros y la cabina de mandos, la bodega de carga y todos los sistemas de gobierno del avión.

Su diseño es una combinación de un diseño uniforme que ofrezca la mínima resistencia aerodinámica a la vez que maximiza el volumen interior para poder alojar pasajeros y carga.



Figura N°23: Fuselaje del avión.

3.2.2.2. Superficies de sustentación

El vuelo de un avión se basa en parte en la fuerza de sustentación y en las diferencias de presión que suceden en estas gracias a su forma. Las superficies de sustentación más importantes de un avión son las alas.

Las alas de un avión tienen a su vez distintas partes:

- ✓ Borde de ataque.
- ✓ Borde de salida o de fuga.
- ✓ Comba.

Como decíamos antes gracias a estas partes del ala se consigue que el flujo de aire en la parte superior sea más rápido que el inferior, lo que crea la fuerza de sustentación de abajo a arriba



Figura N°24: Superficie de sustentación del avión.

3.2.2.3. Superficies de control

Existen tres movimientos básicos en un avión: guiñada, cabeceo y alabeo llamados ángulos de navegación. Son los que permiten la maniobrabilidad de la aeronave, y estos movimientos se consiguen gracias a las superficies de control que se hallan en las superficies de sustentación:

- ✓ Alerones
- ✓ Flaps
- ✓ Spoilers
- ✓ Frenos aerodinámicos
- ✓ Slats
- ✓ Estabilizadores horizontales
- ✓ Estabilizadores verticales.



Figura N°25: Superficie de control del avión.

3.2.2.4. Grupo moto propulsor

Para conseguir la diferencia de presión entre las superficies de las alas, necesitamos que el avión se mueva y para eso contamos con el grupo propulsor, encargados de conseguir la potencia necesaria para vencer la resistencia aerodinámica del aire. Dependiendo del tipo de vuelo y avión para el que esté diseñado existen distintos tipos de motores, de combustión interna o a reacción.



Figura N°26: Motor de reacción.

3.2.2.5. Tren de aterrizaje

Los aviones han de moverse por el suelo y para eso el tren de aterrizaje permite a la aeronave descansar sobre tierra y realizar las maniobras de aterrizaje y despegue y debe de ser tan robusto como para soportar el peso del avión al aterrizar y la velocidad de despegue. Actualmente el tren de aterrizaje de los aviones comerciales cuenta con una disposición de tres elementos denominado triciclo, un elemento en la parte delantera y dos elementos a la altura de las alas. En aviones de esta envergadura el tren de aterrizaje se contrae dentro del fuselaje del avión para reducir rozamiento, los aviones más pequeños no disponen de esta capacidad y su tren de aterrizaje es fijo. Y estas son las partes imprescindibles para que los aviones funcionen y puedan recorrer el mundo y cubrir grandes distancias.



Figura N°27: Tren de aterrizaje.

3.2.2.6. Sistema hidráulico

Los sistemas hidráulicos son todavía hoy el medio más efectivo para transmitir potencia a los mandos primarios y secundarios de vuelo, trenes de aterrizaje, frenos, puertas y rampas. Los sistemas hidráulicos han mantenido suposición de dominancia debido fundamentalmente a su bajo peso por unidad de potencia. Los principales requerimientos para el desempeño de las misiones encomendadas a cualquier sistema embarcado son bajo peso, bajo volumen, bajo coste de adquisición, alta fiabilidad y bajo mantenimiento.

Las funciones básicas de los sistemas hidráulicos en los aviones consisten por lo tanto en el suministro, la aplicación y el control de la potencia mecánica en aquellos puntos o equipos en que es necesaria y en el momento adecuado.

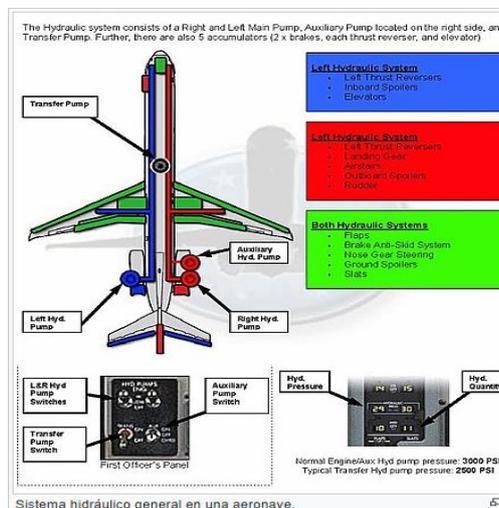


Figura N°28: Imagen referencial del sistema hidráulico del avión.

CAPITULO IV

4. DESCRIPCIÓN DEL MECANISMO

4.1. FUERZAS QUE ACTUAN EN EL VUELO

Sobre el aeroplano en vuelo actúan una serie de fuerzas favorables unas y desfavorables otras. De todas las fuerzas que actúan sobre un aeroplano en vuelo, las básicas y principales porque afectan a todas las maniobras son cuatro: sustentación, peso, empuje y resistencia. Estas cuatro fuerzas actúan en pares; la sustentación es opuesta al peso y el empuje o tracción a la resistencia. En vuelo recto y nivelado a velocidad constante, la suma de cada fuerza con su opuesto es cero, una fuerza anula el efecto de la otra. Un aeroplano como cualquier otro objeto se mantiene estático en el suelo debido a la acción de dos fuerzas: su peso, debido a la gravedad, que lo mantiene en el suelo y la inercia o resistencia al avance que lo mantiene parado.

Para que este aeroplano vuele será necesario contrarrestar el efecto de estas dos fuerzas negativas, peso y resistencia, mediante otras dos fuerzas positivas de sentido contrario, sustentación y empuje. Así el empuje ha de superar la resistencia que opone el avión al avanzar y la sustentación superar tendrá que superar el peso del avión manteniéndose en el aire.



Figura N°29: Imagen referencial de fuerzas que actúan en vuelo.

4.1.1. 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). Debido a que es una fuerza, es una cantidad vectorial que tiene magnitud y una dirección asociada a ellas. Se suele representar con la letra L, inicial del término inglés Lyft=Sustentación.

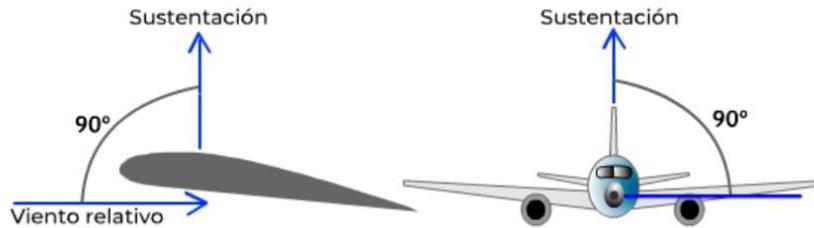


Figura N°30: Imagen referencial de perpendicularidad de la sustentación.

4.1.1.1. Factores que afectan la sustentación:

- **Actitud del avión.** Este término se refiere a la orientación o referencia angular de los ejes longitudinal y transversal del avión con respecto al horizonte y se especifica en términos de: posición de morro (pitch) y posición de las alas (bank); por ejemplo: el avión está volando con 5° de morro arriba y 15° de alabeo a la izquierda.
- **Trayectoria de vuelo.** Es la dirección seguida por el perfil aerodinámico durante su desplazamiento en el aire; es decir, es la trayectoria que siguen las alas y por tanto el avión.
- **Viento relativo.** Es el flujo de aire que produce el avión al desplazarse. El viento relativo es siempre paralelo a la trayectoria del vuelo y de dirección opuesta. Su velocidad es la relativa del avión con respecto a la velocidad de la masa de aire en que este se mueve.

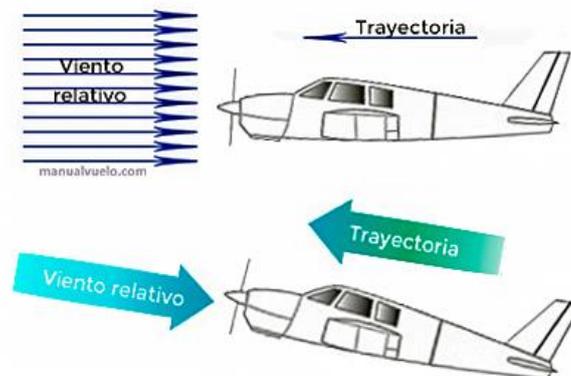


Figura N°31: Imagen referencial de trayectoria de vuelo y viento relativo.

- **Ángulo de incidencia.** El ángulo de incidencia es el ángulo formado por la cuerda del ala respecto al eje longitudinal del avión. Este ángulo es fijo, pues responde a consideraciones de diseño y no es modificable por el piloto.

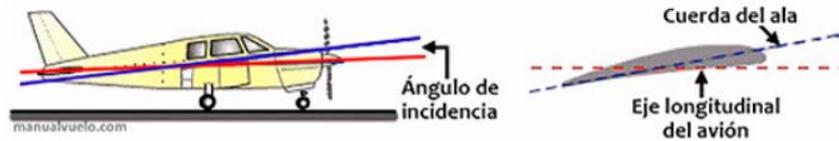


Figura N°32: Imagen referencial de ángulo de incidencia.

- **Ángulo de ataque.** El ángulo de ataque es el ángulo agudo formado por la cuerda del ala y la dirección del viento relativo. Este ángulo es variable, pues depende de la dirección del viento relativo y de la posición de las alas con respecto a este, ambos extremos controlados por el piloto.



Figura N°33: Imagen referencial de ángulo de ataque y viento relativo.

En la siguiente figura se muestra las distintas fases de un avión en vuelo, en cada una de las cuales podemos apreciar de una manera gráfica los conceptos definidos: la trayectoria; el viento relativo, paralelo y de dirección opuesta a la trayectoria, y la sustentación, perpendicular al viento relativo.

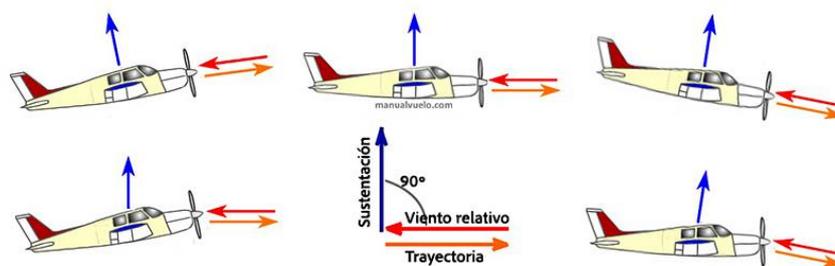


Figura N°34: Imagen referencial de dirección de la sustentación y la trayectoria respecto al viento relativo.

- **La forma del perfil del ala.** Hasta cierto límite, a mayor curvatura del perfil mayor diferencia de velocidad entre las superficies superior e inferior del ala y por tanto mayor diferencia de presión, o lo que es igual mayor fuerza de sustentación.
- **La superficie alar.** Cuanto más grandes sean las alas mayores será la superficie sobre lo que se ejerce fuerza de sustentación. Pero hay que tener en cuenta que los perfiles muy curvados o alas muy grandes incrementan la resistencia del avión al ofrecer mayor superficie enfrentada a la corriente de aire.
- **La densidad del aire.** Cuanto mayor sea la densidad del aire, mayor es el número de partículas por unidad de volumen que cambian velocidad por presión y producen sustentación (factor ρ del teorema de Bernoulli).
- **La velocidad del viento relativo.** A mayor velocidad del flujo sobre el perfil, mayor es la sustentación. Es importante destacar que la sustentación es proporcional al cuadrado de la velocidad (factor v^2 del teorema del Bernoulli), siendo por tanto este factor que comparativamente afecta más a la sustentación.

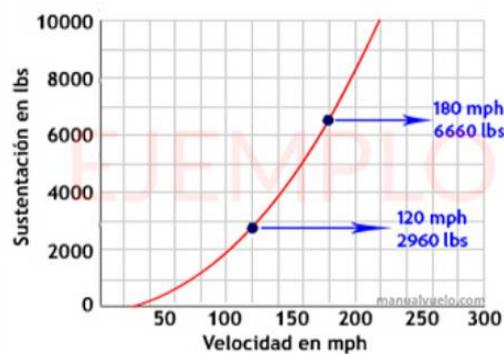


Figura N°35: Gráfico de influencia de la velocidad en la sustentación.

En la siguiente figura N°35 se observa cómo aumentando la velocidad un 50% (de 120mph a 180mph) la sustentación se incrementa un 125%.

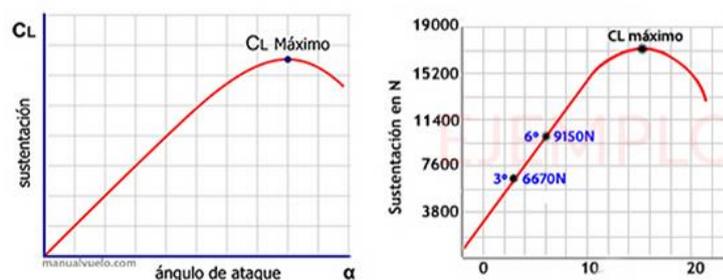


Figura N°36: Gráfico de evolución de la sustentación con el ángulo de ataque.

En la figura N°36 se ve que de forma general como aumenta el coeficiente de sustentación (c_L) con el ángulo de ataque (izquierda) hasta llegar al c_L máximo, a partir del cual la sustentación

disminuye. En la derecha se muestran ejemplos de valores de sustentación de un determinado perfil y ángulos de ataque de 3° y 6°.

- **Otros factores.** Como pueden ser las imperfecciones producidas en las alas, la suciedad acumulada en las mismas, el hielo formado sobre ellas en caso de frío extremo y en definitiva cualquier circunstancia que menoscabe el normal flujo de aire sobre el perfil.

4.1.1.2. Centro de presiones

Se denomina centro de presiones al punto teórico de ala donde se considera aplicada toda la fuerza de sustentación. Aunque la presión actúa sobre la totalidad del perfil, a efectos teóricos se considera que toda fuerza de sustentación se ejerce sobre un punto concreto en la línea de la cuerda (resultante).

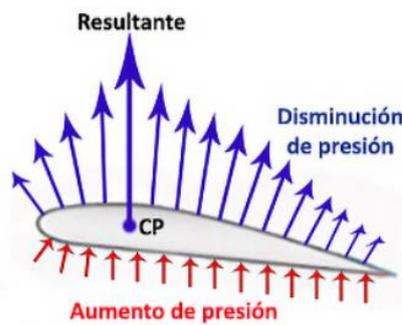


Figura N°37: Imagen referencial de centro de presiones.

A medida que aumenta o disminuye el ángulo de ataque se modifica la distribución de presiones alrededor del perfil lo cual da lugar al desplazamiento del centro de presiones, dentro de unos límites, hacia adelante o atrás respectivamente; es decir el centro de presiones varía a medida que lo hace el ángulo de ataque.

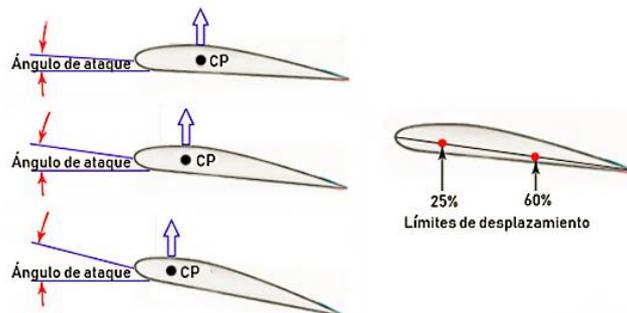


Figura N°38: Imagen referencial de desplazamiento del centro de presiones con el ángulo de ataque.

4.1.2. 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 atare al avión hacia la tierra y ha de ser contrarrestada por la fuerza de sustentación para mantener al avión en el aire.

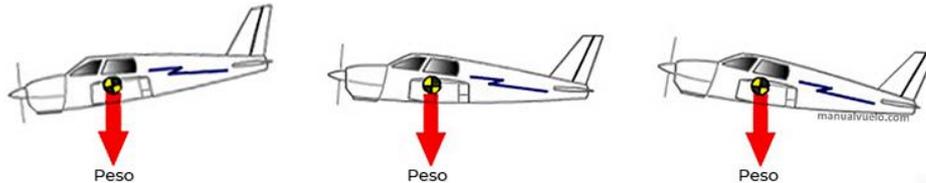


Figura N°39: Imagen referencial de dirección y sentido del peso de un aeroplano.

- **Centro de gravedad**

Es el punto donde se considera ejercida toda la fuerza de gravedad, es decir el peso. El C.G es el punto de balance de manera que si pudiera colgar el avión por ese punto específico este quedaría en perfecto equilibrio. El avión realiza todos sus movimientos pivotando sobre el C.G y su ubicación viene determinada por el diseño de cada aeronave en particular.



Figura N°40: Imagen referencial de centro de gravedad, balance y equilibrio.

4.1.3. Resistencia

Es un hecho físico establecido que ningún sistema es 100% eficiente; cualquiera que sea su naturaleza, el trabajo requerido se obtiene a expensas de cierto trabajo adicional que se disipa o se pierde. Cuanto más eficiente sea el sistema, menor será esta pérdida. En nuestro caso esa pérdida de eficiencia se debe a la resistencia. Esta fuerza es la 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.

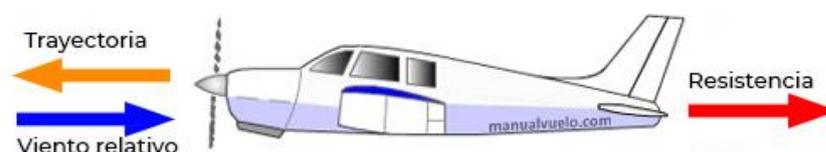


Figura N°41: Imagen referencial de dirección y sentido de la resistencia.

Desde un punto de vista aerodinámico, cuando un ala se desplaza a través del aire hay dos tipos de resistencias: resistencia debido a la fricción del aire sobre la superficie del ala, y resistencia por la presión del propio aire oponiéndose al movimiento de un objeto en su seno.

La resistencia por fricción es proporcional a la viscosidad, que en el aire es muy baja, de manera que la mayoría de las veces esta resistencia es pequeña comparada con la producida por la presión, mientras que la resistencia debida a la presión depende de la densidad de la masa de aire.

Ambas resistencias crean una fuerza proporcional al área sobre la que actúan y al cuadrado de la velocidad. Una parte de la resistencia por presión que produce un ala depende de la cantidad de sustentación producida; a esta parte se le denomina resistencia inducida, denominándose resistencia parásita a la suma de restos de resistencias.

- **Resistencia inducida:** La resistencia inducida, indeseada pero inevitable, es un producto de la sustentación, y se incrementa en proporción directa al incremento del ángulo de ataque. La magnitud de esta resistencia depende de la cantidad de sustentación generada y su distribución a lo largo de la misma. Las alas delgadas con cuerdas largas producen poca resistencia inducida mientras que las alas cortas con mucha cuerda producen mucha resistencia. Para reducir este efecto (entre otros beneficios) desde hace unos años los aviones comerciales montan unos dispositivos de punta alar denominados Winglets o Sharklets.

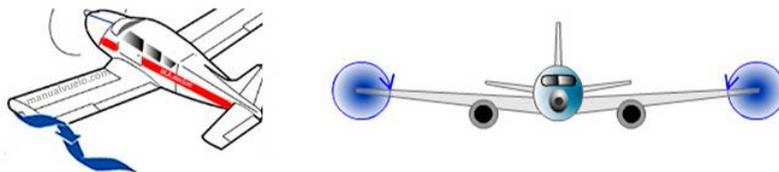


Figura N°42: Imagen referencial de deflexión del flujo de aire y formación de vórtices.

Representadas de forma gráfica la sustentación y la resistencia, la fuerza aerodinámica se descompone en dos fuerzas: una aprovechable de sustentación y otra no deseada pero inevitable de resistencia.



Figura N°43: Imagen referencial de resistencia inducida.

La siguiente figura nos muestra la relación entre la resistencia inducida, la velocidad y el ángulo de ataque.

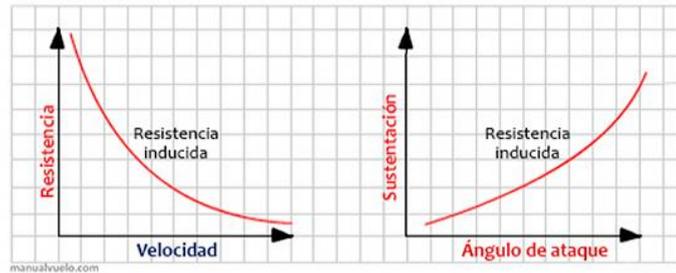


Figura N°44: Variación de la resistencia inducida con la velocidad y el ángulo de ataque

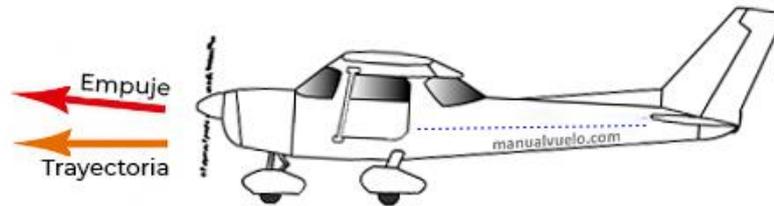
- **Resistencia parásita.** Es la producida por las demás resistencias no relacionadas con la sustentación, como son: resistencia al avance de las partes del avión que sobresalen (fuselaje, tren de aterrizaje no retráctil, antenas de radio, etc.), entorpeciendo del flujo de aire en alas sucias por impacto de insectos o con formación de hielo, rozamiento o fricción superficial con el aire, interferencia del flujo de aire canalizado al compartimiento del motor para refrigerarlo. Lógicamente, cuanto mayor sea la velocidad, mayor será el efecto de la resistencia parásita. La resistencia parásita aumenta con la velocidad.



Figura N°45: Resistencia parásita vs velocidad.

4.1.4. 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, etc. Se necesita una fuerza: el empuje o



tracción. Se suele emplear habitualmente la palabra empuje por derivación del inglés thrust. 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, mueve el avión hacia adelante. 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, aunque no siempre es así.

Figura N°46: Imagen referencial de dirección y sentido del empuje.

Como era de esperar, al aumentar la potencia, la fuerza de empuje superará la resistencia y el avión acelerará hasta una nueva velocidad en la cual ambas fuerzas sean iguales, pero también, el aumento de velocidad incrementará la fuerza de sustentación haciendo que el avión empiece a ascender (supuesto que no varía el ángulo de ataque). De la misma manera, disminuir la potencia provocará que la fuerza de empuje sea inferior a la de resistencia y el avión decelerará hasta una nueva velocidad de equilibrio de fuerzas, además de que la sustentación disminuirá y el avión comenzará a descender.

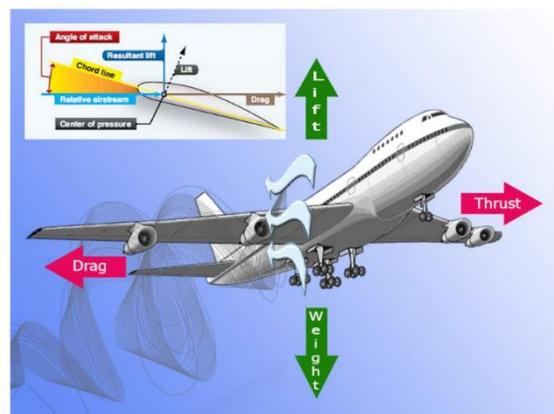


Figura N°47: Imagen referencial de empuje o tracción en un avión.

4.1.5. Principio de Bernoulli

Experimento para poder entenderlo mejor:

- ✓ Consiste en un perfil de un ala (sección de ala como si la cortases por la mitad) y un ventilador de aire. Al encender el botón empieza a salir el aire y se puede ver cómo el ala se eleva, sólo por acción de su geometría.



Figura N°48: Imagen 01 de experimento de Bernoulli.

- ✓ Al comienzo del experimento la sección de ala está en reposo



Figura N°49: Imagen 02 de experimento de Bernoulli.

- ✓ Al comenzar a salir el aire la sección de ala se eleva, sólo por acción de su geometría y del viento. Esto simularía la acción de un avión moviéndose y el aire del ventilador sería el propio viento que chocaría frontalmente con el avión en movimiento.

Esta elevación del ala se debe al principio de Bernoulli (explicado en el siguiente apartado), por el que el aire que recorre la parte superior del ala ejerce menos presión que el aire que recorre la parte inferior del ala. Al haber mayor presión abajo que arriba, se produce una sustentación de las alas.



Figura N°50: Imagen 03 de experimento de Bernoulli.

Nota: El principio de Bernoulli y la geometría de las alas no es el único motivo por el que vuelan los aviones.

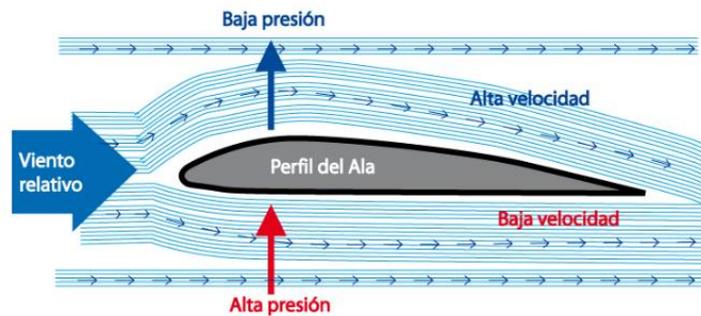


Figura N°51: Imagen referencial del efecto Bernoulli.

Lo que ocurre es que el aire que viaja por la parte superior del ala viaja más rápido que por la parte inferior. Esto es así para cumplir el principio de conservación de la masa, donde el caudal de aire que entra debe ser igual al caudal de aire que sale. Al tener que cubrir más distancia por la parte superior debe hacerlo más rápido.

El principio de Bernoulli por otro lado nos dice que la energía en caudales de flujo cerrados se mantiene constante en cada sección. La energía del flujo es debido a su velocidad (cinética), a su altura (potencial) y a su presión. Si varía la velocidad del flujo, para que se mantenga constante la energía debe disminuir su presión (teniendo en cuenta que no varía la altura). La presión por tanto de la parte superior del ala es menor que en la parte inferior lo que provoca que el ala se sustente.

Este último efecto de succión por aumento de velocidad es conocido como el efecto Venturi.

4.2. SUPERFICIES DE CONTROL DE UN AVIÓN.

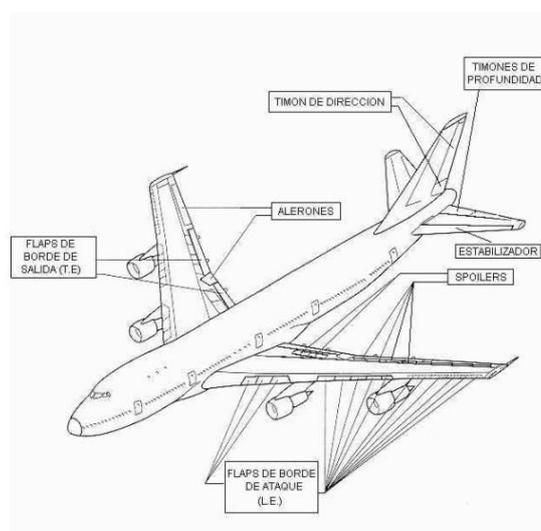


Figura N°52: Imagen referencial de las superficies de control.

4.2.1. Ejes del avión.

Es una línea imaginaria a través de la estructura del avión, alrededor del cual se produce el movimiento. La figura muestra los tres ejes de referencia perpendiculares entre sí y que se cortan en el centro de gravedad.

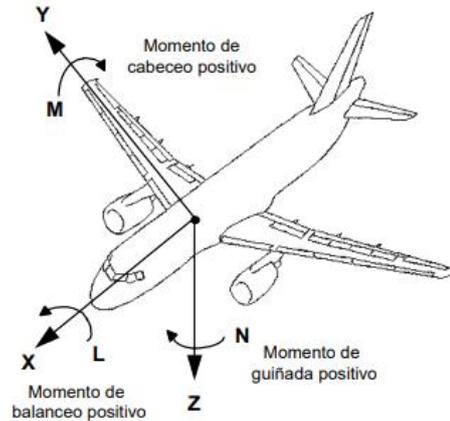


Figura N°53: Imagen referencial de los ejes del avión.

4.2.1.1. Ejes del movimiento.

- Longitudinal.** El origen está en el centro de gravedad y está situado en el plano de simetría del avión y hacia el morro. Se le define como eje OX. Alrededor de este eje se produce un movimiento de balanceo o alabeo (roll).
- Lateral.** El origen está en el centro de gravedad y es perpendicular al plano de simetría del avión, siendo su sentido positivo hacia el ala derecha. Se le define como OY. Alrededor de este eje se produce un movimiento de cabeceo (pitch).
- Vertical.** El origen está en el centro de gravedad, está situado en el plano de simetría del avión y su sentido positivo es hacia abajo. Este eje se define por OZ. Alrededor de este eje se produce un movimiento de guiñada (yaw).

Nota: Alrededor de estos ejes se generan tres momentos posibles a los que se asignan tres letras para su identificación:

- ✓ El momento L positivo alrededor del eje longitudinal, produciría un movimiento de balance.
- ✓ El momento N positivo alrededor del eje vertical, produciría un movimiento de guiñada positivo haciendo girar el avión hacia la derecha y la izquierda.
- ✓ Un momento M positivo alrededor del eje lateral, produciría un movimiento de cabeceo que tendería a encabritar el avión.

4.2.2. Estabilidad y control.

- a) Suma de los momentos: Condición imprescindible que tiene que cumplirse. La suma de los momentos producidos por dichas fuerzas, respecto al centro de gravedad debe ser nula.
- b) **Equilibrio:** Un avión se encuentra en estado de equilibrio si la suma de todas las fuerzas y momentos en su centro de gravedad es igual a cero. Esto significa que, no existen momentos de cabeceo, alabeo o guiñada.
- c) **Estabilidad:** Es la capacidad de una aeronave para mantener el equilibrio y recuperarse de los efectos de condiciones perturbadoras, tales como turbulencias, ráfagas, etc.
- d) **Control:** Es la capacidad de respuesta de un avión a los mandos del piloto.

En cada condición de vuelo, el avión debe encontrarse equilibrado y la estabilidad es necesaria para minimizar el esfuerzo del piloto.

Ejemplo: Supongamos un vuelo de crucero a velocidad constante. Si el avión sufre una ráfaga que le provocase un incremento del ángulo de ataque que produciría mayor sustentación y desequilibraría la fuerza según el eje vertical, el avión debido a su estabilidad debe reaccionar reduciendo el ángulo de ataque y así mantener la situación de equilibrio inicial. Esto lo realiza el avión el solo sin actuar en ningún mando (piloto automático).

Nota: Para que un avión responda a los mandos de control, su estabilidad debe ser alterada, es decir, el equilibrio inicial debe ser alterado hasta una nueva situación de equilibrio.

4.2.3. Superficies de control primarias.

Es con la que el piloto consigue el equilibrio del avión.

- a) **Timón de profundidad:** Controla el movimiento longitudinal de cabeceo alrededor del eje lateral OY.
 - ✓ Los timones de profundidad están localizados en la parte final o borde de salida del estabilizador horizontal.
 - ✓ Los timones de profundidad se actúan empujando y tirando sobre el mando de vuelo o palanca.
- b) **Alerones:** Controlan el movimiento de balance alrededor del eje OX.
 - ✓ Los alerones están localizados en el borde de salida de las alas.
 - ✓ Los alerones se activan girando la palanca o mando a izquierda y derecha.
- c) **Timón de dirección:** Controla el movimiento de guiñada alrededor del eje vertical OZ.
 - ✓ El timón de dirección está localizado en el estabilizador vertical en la sección de cola y cerca del borde de salida.

- ✓ El accionamiento del timón de dirección se efectúa pisando los pedales del timón a derecha e izquierda.

4.2.4. Superficies de control secundario.

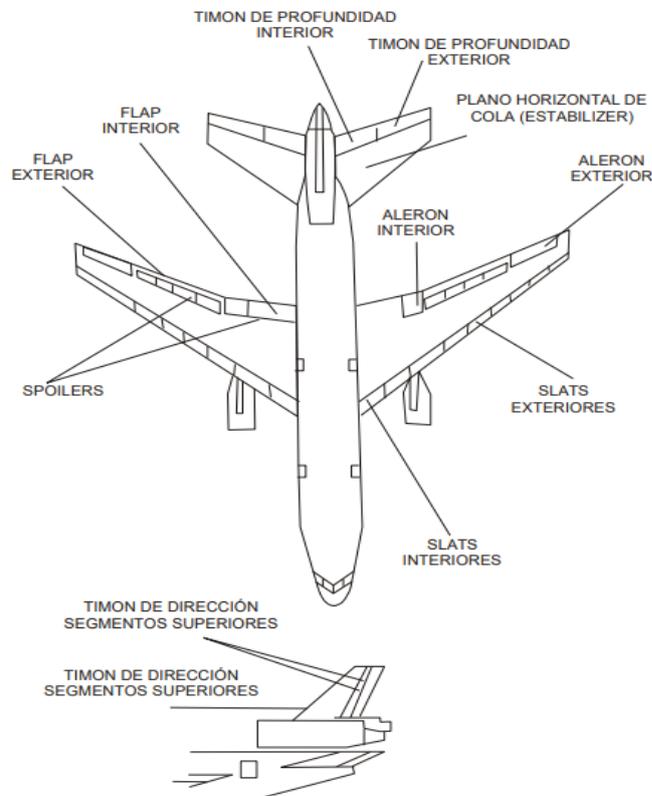


Figura N°54: Imagen referencial de las superficies de control secundario.

- a) **Tabs:** Son pequeñas superficies de control situadas cerca del borde de salida de (elevator) timón de profundidad, timón de dirección (rudder) y alerones. El tab se deflecta en dirección opuesta al control primario (del cual forma parte) y se consigue llevar a la posición deseada al control primario sin esfuerzo del piloto.

El principio de funcionamiento del tab es la siguiente:

Deflectando el tab, p.e. hacia abajo al aumentar la curvatura de esa parte del perfil, se produce una fuerza aerodinámica que da lugar a un momento de charnela considerable debido a su distancia al eje charnela. Este momento tiende a mover el timón hacia arriba.



Figura N°55: Imagen referencial del tabs del avión.

- b) Eje de charnela:** Es el eje de rotación del mando primario (p.e. el timón de profundidad)
- ✓ De este modo el esfuerzo en la palanca para mover el timón viene ayudado por el Tab.
 - ✓ El Trim tab o tab de compensación se utiliza para anular el momento de charnela en el eje y por tanto la fuerza en palanca o mando de vuelo.
- c) Flaps:** Son superficies situadas cerca del borde de salida y/o de ataque de las alas en el centro y hacia el encastre de éstas con el fuselaje. Los flaps son superficies o dispositivos de hipersustentación y entre sus efectos principales está aumentar la curvatura del ala.
- ✓ Se utiliza en actuaciones de despegue y aterrizaje.
 - ✓ El deflactar los Flaps conlleva un incremento de la resistencia al avance, lo cual favorece la maniobra de descenso.
 - ✓ Los Flaps son necesarios para disminuir las velocidades de despegue y aterrizaje necesarias.
 - ✓ En el despegue necesitamos conseguir equilibrar el peso a la menor velocidad posible, lo que implicaría ángulos de ataque excesivos, para ello se utilizan los Flaps que consiguen el mismo efecto sin tener que aumentar el ángulo de ataque.
 - ✓ En el aterrizaje el efecto es análogo y se consigue aumentar la pendiente de la trayectoria de descenso.
 - ✓ Con los Flaps se consigue reducir la velocidad de pérdida.
 - ✓ Se emplean siempre valores de ángulo de deflexión de Flaps superiores en el aterrizaje que en el despegue.
 - ✓ Se subdividen en flaps de borde de salida y flaps de borde de ataque.

Flaps de borde de ataque.

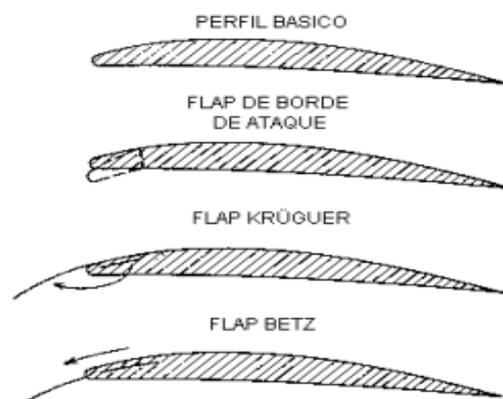


Figura N°56: Imagen referencial flaps de borde de ataque.

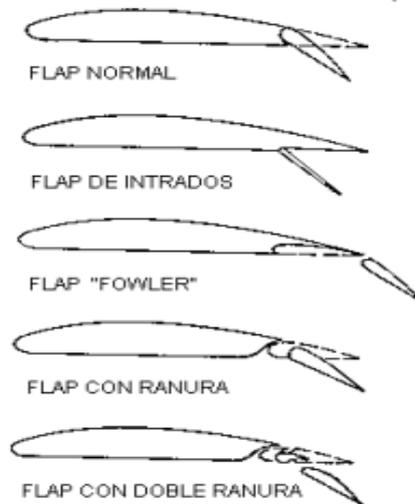


Figura N°57: Imagen referencial flaps de borde de salida.

d) Slats: Son dispositivos hipersustentadores situados en el borde de ataque del perfil básico y que permiten que aparezca entre ellos una ranura con el fin de insuflar aire a gran velocidad sobre el extradós del perfil. La misión de los slats, es la de permitir alcanzar mayores ángulos de ataque sin entrar en pérdida. Los slats pueden ser fijos o móviles para permitir el cierre de la ranura a pequeños ángulos de ataque.

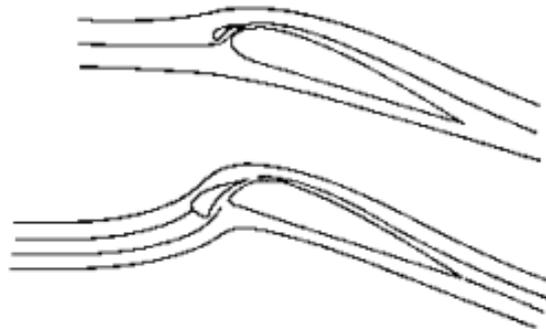


Figura N°58: Imagen referencial slats del avión.

4.2.5. Sixpaxs

4.2.5.1. Controles de vuelo.

- **Horizonte artificial:** Indica la actitud



Figura N°59: Horizonte artificial del avión.

- **Altímetro:** Es el instrumento que nos indica unidades de altitud/altura, según midamos sobre el mar o sobre el terreno respectivamente. Basa su medición en la diferencia de presión atmosférica exterior y la estándar. Es decir, que el altímetro basta con que mida la presión estática para que funcione. Existen altímetros que nos dan la altura/ altitud en metros y otros que nos dan en pies (la mayoría de ellos lo hace).



Figura N°60: Altímetro del avión.

- **Anemómetro:** Nos proporcionan la información necesaria en cada momento al piloto del avión para el control de la posición y el manejo de la misma. Un instrumento de a bordo debe ser justo, cuando la información corresponde a la realidad y preciso, si las desviaciones son débiles y conocemos sus errores. La información debe ser rápida y estable, conociendo el retraso en la indicación. Las agujas deben ser fluorescentes y se iluminan por lámparas de los distintos instrumentos. Hay que tener presente que si la información de dos instrumentos no coincide con la realidad uno de los dos puede estar fallando, pero si además tenemos un tercer instrumento para poder corroborar esa información sabremos con certeza que está fallando.



Figura N°61: Anemómetro del avión.

- **Variómetro:** Al igual que el altímetro y el anemómetro, el variómetro es un instrumento que se basa en la medición de la diferencia de presión. La misión es la de medir el régimen de ascenso o descenso del avión, es decir, de la cantidad de espacio por unidad de tiempo que recorreremos, o, dicho de otro modo, velocidad vertical del avión. Lo que se hace es medir la presión atmosférica en dos instantes distintos, y el tiempo que tardan e igualarse ambas presiones en magnitud, es función del espacio recorrido verticalmente en un tiempo determinado. El variómetro lleva incorporado un difusor que actúa como un filtro calibrado según la atmósfera estándar, cuya misión es medir la cantidad de presión por unidad de tiempo que pasa a través de él.



Figura N°62: Variómetro del avión.

4.2.5.2. Controles de inclinación

- **Brújula o indicador de rumbos:** La Tierra se considera como un gran imán en el que sus extremos son el polo norte magnético y polo sur magnético y las líneas de fuerza no se desplazan entre los polos geográficos sino entre los polos magnéticos. Un metal imantado como puede ser la aguja de la brújula tiende a alinearse con las líneas de fuerza por lo que a medida que la aeronave se acerca a estos polos, ésta se inclina más y más hasta hacerse máxima en los polos. Denominamos rumbo al ángulo que forman el eje longitudinal de la aeronave y la dirección a la que se encuentra el norte magnético o geográfico, según hablemos de rumbo magnético o geográfico.



Figura N°63: Brújula del avión

- **Bastón y bola.**



Figura N°64: Baton y bola del avión

Controles de potencia

- Presión de admisión.
- Tacómetro
- Anemómetro

Resumiendo, tenemos los famosos Sixpaxs (instrumentos básicos de vuelo):

- 1) **Indicador de velocidad:** El indicador de velocidad aerodinámica o anemómetro, mide la velocidad del avión expresada en nudos (kts), o bien en millas por hora (mph), con respecto a la masa de aire alrededor de la aeronave.



Figura N°65: Indicador de velocidad del avión.

- 2) **Indicador de altitud:** Es la altitud a la que el aire ofrece una menor resistencia, por lo que los aviones pueden viajar más rápido con menos combustible. Generalmente, la altitud de crucero se ubica entre los diez y los doce mil metros.



Figura N°66: Indicador de altitud del avión.

- 3) **Altímetro:** Es el instrumento que nos indica unidades de altitud/altura, según midamos sobre el mar o sobre el terreno respectivamente. Basa su medición en la diferencia de presión atmosférica exterior y la estándar. Es decir, que el altímetro basta con que mida la presión estática para que funcione. Existen altímetros que nos dan la altura/ altitud en metros y otros que nos dan en pies (la mayoría de ellos lo hace).



Figura N°67: Altímetro del avión.

- 4) **Coordinador de giro:** Es un instrumento que nos informa del régimen de giro de la aeronave en minutos por vuelta. Entendemos por régimen de giro el tiempo que tardamos en dar una vuelta completa de 360° y no tiene nada que ver con la inclinación con la que realizamos este giro.



Figura N°68: Coordinador de giro del avión.

- 5) **Indicador de dirección:** Consiste en un giróscopo cuyo rotor mantiene su eje de rotación vertical. A este giróscopo se encuentra acoplada, mediante unos engranajes, una rosa de rumbos graduada de 0° a 359°.



Figura N°69: Indicador de dirección del avión.

- 6) **Indicador de velocidad vertical.** Muestra al piloto dos cosas.
- a) Si el avión está ascendiendo, descendiendo, o vuela nivelado.
 - b) La velocidad vertical o régimen, en pies por minuto (f.p.m), del ascenso o descenso. Este instrumento también se denomina abreviadamente.



Figura N°70: Indicador de velocidad vertical del avión.

Otros:

- 1) **GPS.** Se trata del conjunto de sistemas de navegación que sirve para conocer las coordenadas, la altitud, la velocidad y otros parámetros del avión.
- 2) **Radios.** Es el punto más alejado al que puede llegar una aeronave en el caso de que tenga que regresar a su punto de despegue inicial.
- 3) **Torre de Control.** Es un edificio muy alto en forma de torre, desde donde se dirige y se controla el tráfico aéreo. Desde allí se controlan y se vigilan los despegues, los aterrizajes y los estacionamientos de los aviones en los aeropuertos.

4.3. GRUPO MOTOPROPULSOR.

Para conseguir la diferencia de presión entre las superficies de las alas, necesitamos que el avión se mueva y para eso contamos con el grupo propulsor, encargados de conseguir la potencia necesaria para vencer la resistencia aerodinámica del aire. Dependiendo del tipo de vuelo y avión para el que esté diseñado existen distintos tipos de motores, de combustión interna o a reacción.



Figura N°71: Motor de reacción.

4.3.1. Funcionamiento.

4.3.1.1. Motor de reacción.

Un motor aeronáutico o motor de aviación es aquel que se utiliza para la propulsión de aeronaves mediante la generación de una fuerza de empuje. El avión utiliza un motor de reacción que es una máquina que produce un empuje, realizando una serie de transformaciones termodinámicas a un fluido en el caso del avión el aire. Este motor se basa en 2 leyes fundamentales:

- 2ª Ley de Newton: "El aumento en la cantidad de movimiento es igual al impulso de la fuerza aplicada" es decir la fuerza que se le aplica a un cuerpo es igual a la masa de dicho cuerpo por la aceleración que desarrolla al aplicarle dicha fuerza.
- 3ª Ley de Newton: "A toda acción le corresponde una reacción igual y de sentido contrario" es decir que cuando aplicas una fuerza a un objeto esa fuerza se te aplicara a ti, pero en sentido contrario.

La segunda ley lo que expresa, básicamente, es esto: $m \cdot dV = F \cdot dt$ esto se puede reordenar así: $m \cdot dV/dt = F$, que es la clásica ecuación de $m \cdot a = F$, es decir, la fuerza que le aplicas a un cuerpo es igual a su masa por la aceleración que desarrolla al aplicarle dicha fuerza.

La tercera ley lo que significa es que cuando tu aplicas una fuerza a algo, ese algo te aplica a ti una fuerza igual y de sentido contrario. El ejemplo típico es el de la pared: cuando tu empujas una pared, te vas para atrás. La pared ejerce sobre ti una fuerza igual a la que le aplicas tú, en sentido contrario.

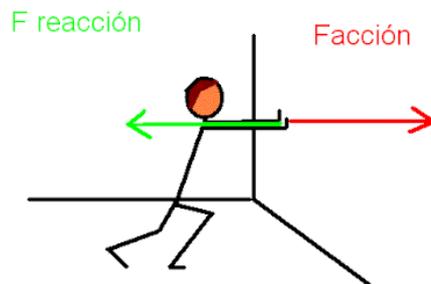


Figura N°72: Acción y reacción.

Aplicando estas dos leyes a un motor de un avión. El motor absorbe una masa de aire y lo acelera, cuando el aire sale por detrás del motor, sale acelerado. Si a una masa de aire la hemos acelerado, esto quiere decir que el motor está aplicando una fuerza al aire. Esto quiere decir que el aire le aplica al motor una fuerza igual y en sentido contrario. Por lo tanto, el aire sale impulsado hacia atrás y el motor hacia delante. Es así que funciona el motor de reacción de un avión.



Figura N°73: Empuje.

4.3.1.2. Transformación de la fuerza de empuje.

Al aire hay que aplicarle una serie de transformaciones termodinámicas para conseguir que salga acelerado. El motor a reacción le aplica al combustible, las mismas transformaciones que se desarrollan en un motor de explosión (el de los coches) esto es: compresión, explosión y expansión.

En el cilindro de un motor de explosión, lo primero que ocurre es que entra la mezcla aire combustible. Una vez está en el cilindro, el émbolo o pistón sube comprimiendo la mezcla. Cuando el pistón está arriba, y la mezcla bien comprimida, salta la chispa de la bujía, que hace que la mezcla se quemé. Ésta explota, y expande los gases, empujando al émbolo hacia abajo. Después éste sube, por inercia, con la válvula de escape abierta, sacando los gases. La explosión de la mezcla, al hacer bajar el émbolo, es la que hace que se mueva el cigüeñal, y éste hace que se muevan las ruedas (o hélice, en un avión). Si se representa en un gráfico presión-volumen, las condiciones del fluido describen una línea cerrada.

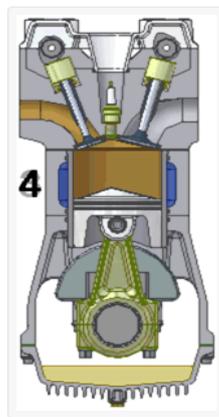


Figura N°74: Motor de combustión.

En el reactor ocurre lo mismo: el aire entra por delante, se comprime en el compresor, se quema en la cámara de combustión y se expulsa a través de la tobera. La diferencia es que se expulsa muy rápido, y eso produce el empuje (3ª ley de Newton).

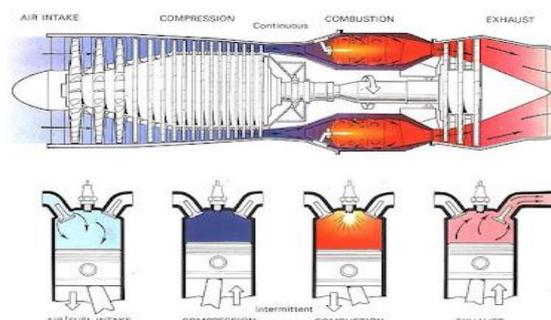


Figura N°75: Ciclo de Brayton.

El motor de reacción convierte la energía derivada de la combustión normalmente queroseno, en energía mecánica en forma de chorro de aire de alta presión y elevada temperatura. Esta energía mecánica es aprovechada para generar el empuje que impulsa a un avión.

La combustión provoca la expansión violenta de los gases producidos, en forma de chorro de alta presión, temperatura (hasta 1500°C) y velocidad. En su camino de salida, el chorro mueve una turbina que comparte eje con los compresores, de manera que parte de la energía del chorro los hace girar, en general a más de 10000 R.P.M. Por último, este chorro de gases se expelle a la atmósfera a través de la tobera de salida.

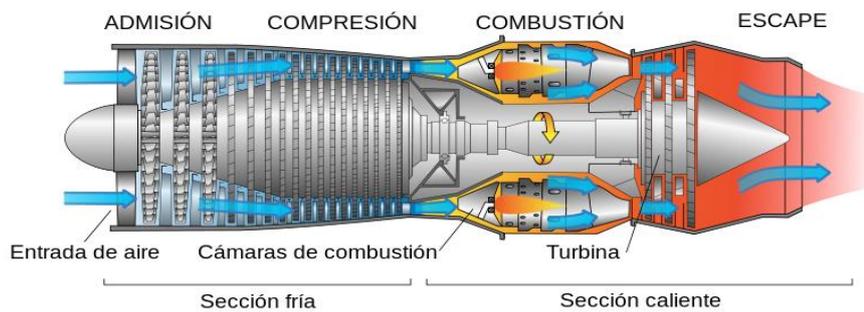


Figura N°76: Flujo de aire.

El modelo más eficiente de un motor de reacción de una reacción es el denominado Turbofán. Este tiene el mismo sistema mecánico de combustión, pero además tiene un gran rotor delante de la sección de compresores produciendo un flujo de aire a baja presión que no pasa por las cámaras de combustión, sino que es mezclado con el chorro de salida, incrementando la masa de aire acelerado. Este sistema de mover grandes volúmenes de aire a una velocidad más baja, incrementa la eficiencia de la turbina consumiendo menos combustible y produciendo un nivel de ruido más bajo.

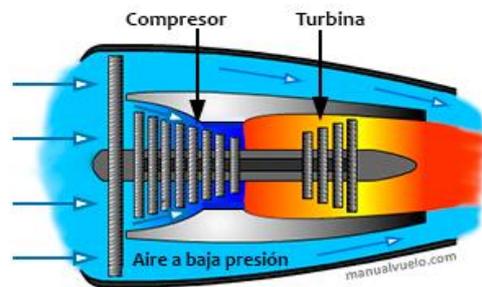


Fig.316 - Esquema de turbofan.

Figura N°77: Esquema de turbofán.

4.3.2. Tipos de motores de reacción

- **Turborreactor o turbojet.** Consiste en una entrada de aire, un compresor de aire, una cámara de combustión, una turbina de gas (que mueve el compresor del aire) y una tobera. El aire entra comprimido en la cámara, se calienta y expande por la combustión del combustible y entonces es expulsado a través de la turbina hacia la tobera siendo acelerado a altas velocidades para proporcionar la propulsión

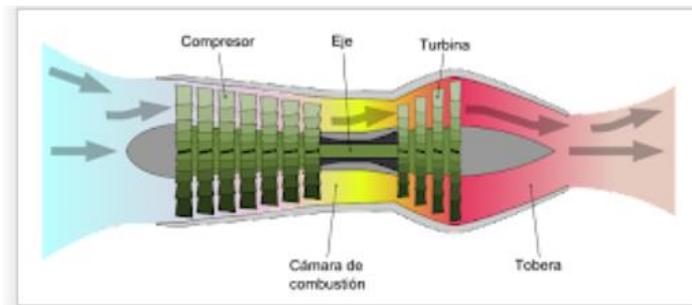


Figura N°78: Motor turbojet.

- **Turbofán o turboventilador.** Que funciona de la siguiente manera, el flujo primario penetra al núcleo del motor (compresores y turbinas) y el flujo secundario se deriva a un conducto anular exterior y concéntrico con el núcleo. Los turbofanes tienen varias ventajas respecto a los turborreactores: consumen menos combustible, lo que los hace más económicos, producen menor contaminación y reducen el ruido.

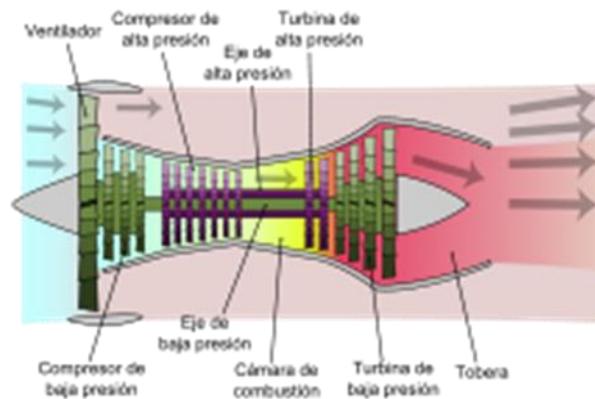


Figura N°79: Motor turbofán del avión.

- **Turbohélice o turbopropela.** Consta de una hélice delante del reactor impulsada por una segunda turbina, las etapas adicionales de esta turbina que mueve el compresor.

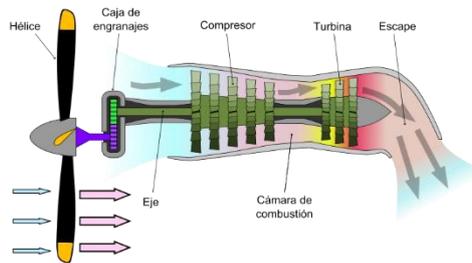


Figura N°80: Motor turbopropela.

4.3.3. Motor de reacción tipo turbofán.

El turbofán es un tipo de motor a reacción con aire que se usa ampliamente en la propulsión de aviones. La palabra "turbofán" es un acrónimo de "turbina" y "ventilador": la parte turbo se refiere a un motor de turbina de gas que obtiene energía mecánica de la combustión, y el ventilador, un ventilador con conductos que utiliza la energía mecánica de la turbina de gas para acelerar el aire hacia atrás. Así, mientras que todo el aire aspirado por un turboreactor pasa a través de la cámara de combustión, en un turbofán parte de ese aire pasa por alto estos componentes. Por lo tanto, un turbofán puede considerarse como un turboreactor que se utiliza para impulsar un ventilador con conductos, y ambos contribuyen al empuje.

La relación entre el flujo másico de aire que pasa por alto el núcleo del motor dividido por el flujo másico de aire que pasa a través del núcleo se denomina relación de derivación. El motor produce empuje a través de una combinación de estas dos partes trabajando juntas.

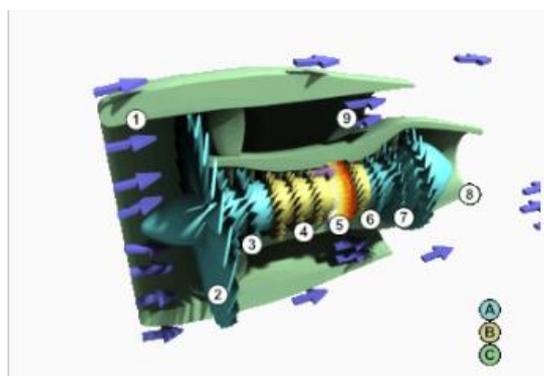


Figura N°81: Motor de reacción tipo turbofán.

- **Ventajas del motor de reacción tipo turbofán**

Conocido también como “turboventilador” o “de doble flujo” es una mejora del turboreactor básico en el que una parte del aire entrante comprimido se desvía para que fluya por una carcasa exterior hasta el final de la turbina, (“flujo secundario”) donde se mezcla con los gases calientes que salen de la misma, (“flujo primario”) antes de llegar a la tobera.

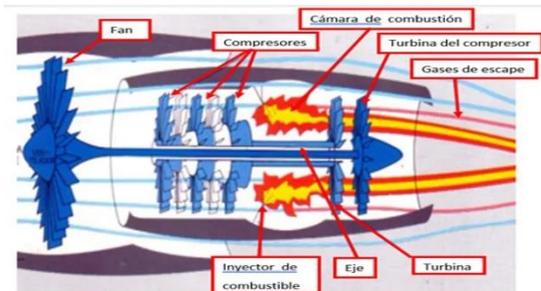


Figura N°82: Separación de flujos.

Un reactor “turbofán”, tiene mayor empuje para el despegue y el ascenso, consiguiendo además ser más eficiente y que el aire que fluye por el exterior refrigere el motor y reduzca el nivel de ruido.

El Turbofán debe su nombre al gran Fan o ventilación (traducción literal) que en la actualidad va situado en la parte delantera del motor. Lo que hace básicamente es absorber una gran cantidad de aire, lo acelera y lo expulsa por la parte trasera a gran velocidad para proporcionar el empuje al avión.

Vamos a ver una foto para ver mejor las partes y cómo funciona.

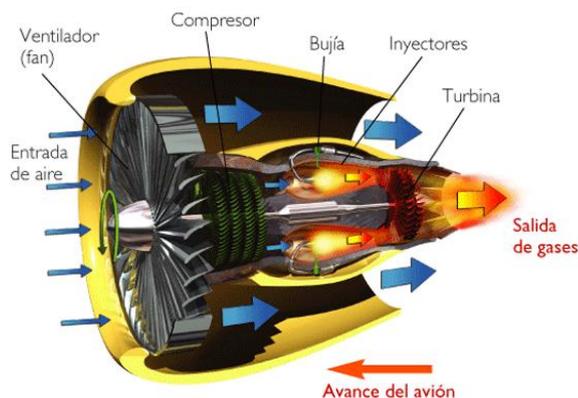


Figura N°83: Partes del motor tipo turbofán.

4.3.4. Partes principales y su funcionamiento.

- **Entrada de aire:** Es la primera etapa del proceso de propulsión. Suele ser una abertura circular y lisa por donde se recoge el aire.
- **Fan o ventilador:** Situado al frente del motor, es un compresor de mayor tamaño que los demás, lo que permite dividir el aire entrante en dos flujos. La corriente primaria pasa a través de los compresores de baja y alta presión. Forma el primer componente de un turbofan, esta sección se encarga de absorber y acelerar el aire, para luego dividirse en 2 partes.

-**Flujo primario:** Pasa por las ruedas compresoras y por la cámara de combustión.

-**Flujo secundario:** Rodea al núcleo del motor.

El 80% de la masa de aire que entra en el motor, pasa al rededor del núcleo (flujo secundario).

El Fan proporciona al rededor del 70%-80% del empuje del motor.

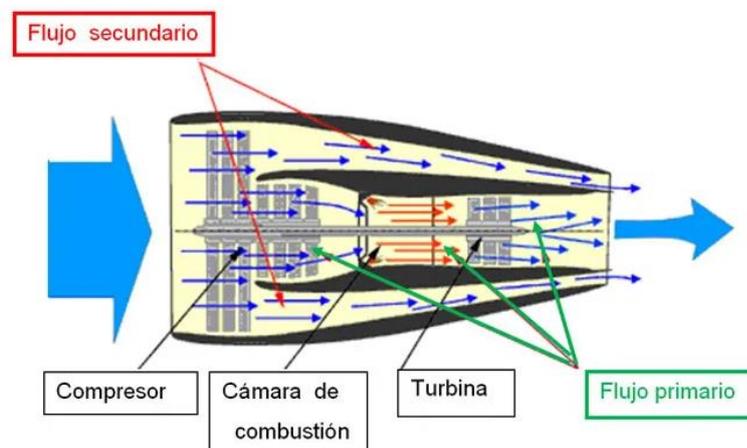


Figura N°84: Flujo del fan.

- **Compresor:** El flujo primario del aire sigue su camino pasando por el compresor. La función del compresor es la de suministrar la correcta cantidad de aire al combustible, y suministrarla con la correcta presión y velocidad. Se compone de varias etapas.



Figura N°85: Compresor 1.

Está formado por unos discos con álabes que dan vueltas, y otros que están quietos. Los que giran se llaman "ROTOR", y los que están quietos se llaman "ESTÁTOR". La misión del rotor es aportar una energía cinética al fluido, una velocidad. Después, ese incremento de energía cinética se convierte en un incremento de presión en el estator, ya que sus álabes forman conductos divergentes (recordar que, si el aire atraviesa un conducto divergente, su velocidad disminuye y su presión aumenta, y si es convergente, al revés).



Figura N°86: Compresor 2.

- **Cámara de combustión:** Después de pasar por el compresor el flujo primario continúa su recorrido pasando por la cámara de combustión.

Lo primero que se produce en la cámara de combustión, es una disminución de la velocidad del aire, ya que si no sería imposible producir la combustión. Sería como encender una cerilla en medio de un tornado. Aquí el queroseno es inyectado continuamente, mezclándose con el aire y produciéndose una combustión continua.

Una vez el fluido ha pasado el compresor, su presión es elevada. Ahora es el momento de inyectarle combustible y quemarlo, veamos un pistón de admisión en el motor de explosión cualquiera:

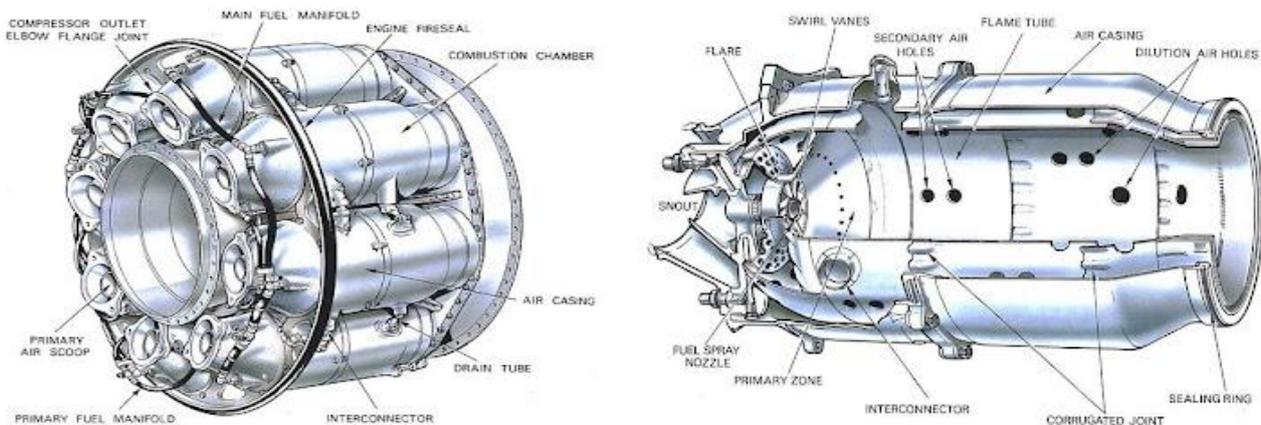


Figura N°87: Cámara de combustión.

El aire llega comprimido, y se divide en dos flujos. El flujo primario se introduce en el "tubo de llama", se inyecta combustible con un vaporizador y a través de una bujía, se inflama la mezcla. La temperatura alcanza 1700-2000°C. El flujo secundario va entre el tubo de llama y la carcasa (cárter) refrigerando el material del tubo a base de crear una película de aire. Al final de la cámara, el flujo secundario se mezcla con el primario para bajar la temperatura hasta unos 200-500°C. Si no se hiciese esto, la turbina (que es el elemento que viene después de la cámara de combustión) se fundiría.

Parte del aire del flujo secundario (el que no pasaba por el núcleo) se utiliza para refrigerar la cámara de combustión. En la imagen inferior podemos ver como se mezcla el aire del flujo secundario para bajar la temperatura de la cámara de combustión y refrigerar el aire que después irá a la turbina.

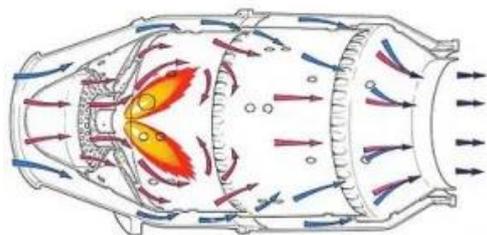


Figura N°88: Cámara de combustión 2.

Nota: En la cámara de combustión están instaladas las bujías, pero estas solo se encienden al arrancar el motor o en determinadas circunstancias del vuelo, para asegurarse de que no se apaga la llama. En condiciones normales no es necesario, ya que la combustión es continua.

- **Turbina:** Una turbina es un elemento rotativo, al que un agente exterior hace girar para producir un trabajo. Cuando el aire atraviesa la turbina, la mueve como si fuese un molino. Además, la turbina está conectada mediante un eje, al compresor, asimismo está conectada a un generador

eléctrico. Es decir, la turbina cuando gira, mueve al compresor y además genera electricidad. La función de la turbina es transformar la energía de presión y la cinética del aire en energía mecánica para mover el Fan y las diferentes etapas del compresor. La turbina va a funcionar como un molinillo. Es decir, los gases van a pasar con velocidad y presión por la turbina y la van a mover, y la turbina va a mover al Fan y a las ruedas compresoras, ya que está unida a un eje con las mismas.

La turbina, al igual que el compresor, está formada por discos con álabes que giran (Rotor) y otros que están quietos (Estátor). La diferencia con respecto al compresor es que el estátor va antes del rotor, y sirve para exactamente lo contrario que en el compresor: en este estátor se transforma la presión en energía cinética, y el rotor es movido por el aire, desarrollando trabajo. En torno a 1/3 de la potencia de los gases se usa para mover la turbina y con ella el compresor. Los otros 2/3 son los que se encargan de obtener empuje a la salida.

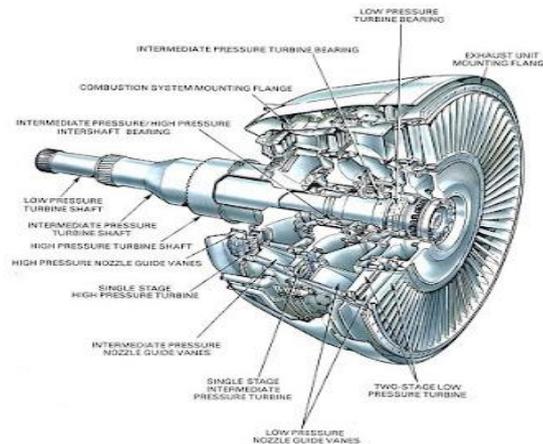


Figura N°89: Turbina del avión.

- **Tobera de escape:** Por último, los gases salen por la tobera de escape acelerando más su velocidad, al ser esta convergente. En la tobera los gases se expanden, adquiriendo velocidad. Después, salen a la atmósfera. Recordando que el empuje es función de la diferencia de velocidades entre la salida y la entrada del motor.



Figura N°90: Toberas de escape del avión.

- **Conducto del flujo secundario:** Rodea concéntricamente al núcleo del motor. Sus paredes interna y externa están cuidadosamente perfiladas para minimizar la pérdida de energía del flujo secundario de aire y optimizar su mezcla con el escape del flujo primario.

De esta forma, haciendo uso de los componentes descritos, conseguimos que el aire que atraviese el motor se acelere lo suficiente como para generar un empuje suficiente para que el avión se mueva.

4.3.5. Empuje generado

Mientras que un motor turborreactor utiliza toda la potencia del motor para producir empuje en forma de un chorro de gas de escape caliente de alta velocidad, el aire frío de derivación de baja velocidad de un turbofan produce entre el 30% y el 70% del empuje total producido por un sistema turbofan.

El empuje, generado por un turboventilador depende de la velocidad de escape efectiva del escape total, pero debido a que hay dos chorros de escape, la ecuación de empuje se puede expandir como:

$$F_N = \dot{m}_e v_{he} - \dot{m}_o v_o + BPR(\dot{m}_c v_f)$$

dónde:

\dot{m}_e = la tasa de masa del flujo de escape de combustión caliente del motor central

\dot{m}_o = la tasa de masa del flujo de aire total que ingresa al turboventilador = $\dot{m}_c + \dot{m}_f$

\dot{m}_c = la tasa de masa de aire de admisión que fluye hacia el motor central

\dot{m}_f = la tasa de masa de aire de admisión que pasa por alto el motor central

v_f = la velocidad del flujo de aire evitado alrededor del motor central

v_{he} = la velocidad de los gases de escape calientes del motor central

v_o = la velocidad de la entrada total de aire = la velocidad real de la aeronave

BPR = Relación de derivación

4.3.6. Sistema de arranque.

Cuando el motor está parado en tierra, necesita una fuente externa de alimentación para que el compresor empiece a rotar y el combustible le proporcione la energía que necesita. Si el combustible se quemase en un motor sin rotación, este se encharcaría y no produciría ningún flujo significativo.

Para evitar esto, se monta un motor de arranque neumático en la caja accesoria que se alimenta con aire procedente de otro motor, de la APU o desde tierra. También existen motores de arranque eléctricos, menos habituales debido a su elevado peso.

El flujo de combustible se controla cuidadosamente para adaptarse a la baja eficiencia del compresor a bajas revoluciones y se realizan sangrados hasta que adquiere una velocidad autosostenible. Durante este proceso es posible que el motor parezca no estar acelerando en absoluto. Una vez alcanzada esta velocidad, se desacopla el motor de arranque para evitar daños por operación prolongada.



Figura N°91: Motor de arranque.

4.4. SISTEMA HIDRÁULICO DE UN AVIÓN

Los sistemas hidráulicos son todavía hoy el medio más efectivo para transmitir potencia a los mandos primarios y secundarios de vuelo, trenes de aterrizaje, frenos, puertas y rampas. A pesar de todo, los sistemas hidráulicos han mantenido su posición de dominancia debido fundamentalmente a su bajo peso por unidad de potencia.

El pequeño tamaño de los tubos y su flexibilidad hacen que sean fáciles de instalar. El uso de aceite como fluido de trabajo proporciona la lubricación necesaria y las sobrecargas del sistema pueden absorberse sin daño.

Las funciones básicas de los sistemas hidráulicos en los aviones consisten por lo tanto en el suministro, la aplicación y el control de la potencia mecánica en aquellos puntos o equipos en que es necesaria y en el momento adecuado.

4.4.1. Conceptos previos

✓ Principio de pascal

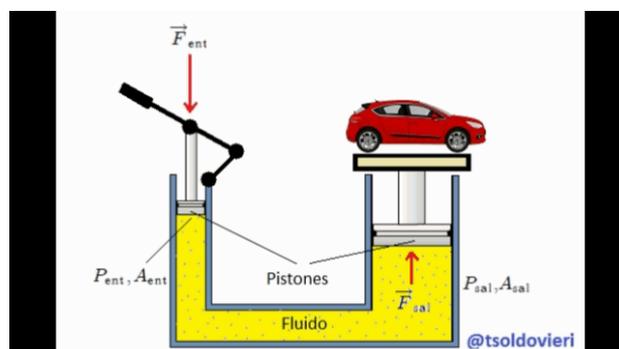


Figura N°92: Imagen referencial del efecto pascal.

✓ **Ecuación de Bernoulli**

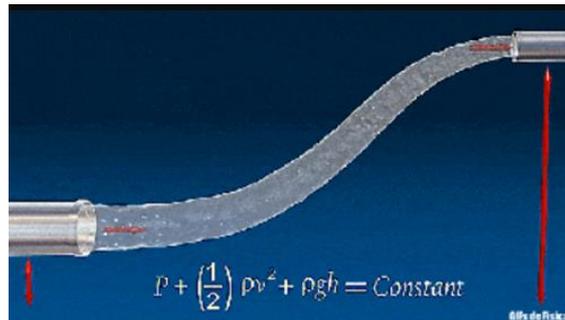


Figura N°93: Imagen referencial Bernoulli.

- ✓ **Potencia hidráulica.** La potencia hidráulica es el trabajo que efectúa un mecanismo hidráulico por unidad de tiempo.

El trabajo es el producto de la fuerza aplicada por la distancia que recorre la fuerza. La fuerza, por su parte, es igual a la presión hidráulica multiplicada por la superficie sobre la que actúa. Entonces podemos escribir:

$$\text{Trabajo} = \text{presion} \times \text{superficie} \times \text{distancia}$$

es decir: $T = p \cdot S \cdot d$

La potencia hidráulica es el trabajo realizado por unidad de tiempo:

$$W = \frac{p \cdot S \cdot d}{t}$$

El producto (superficie x distancia) es igual a volumen V, en este caso de aplicaciones hidráulicas se trata del volumen de líquido desplazado. Caudal Q es el volumen de líquido que circula por unidad de tiempo por una tubería, debido precisamente al desplazamiento de fluido en el sistema.

La potencia hidráulica se puede escribir así:

$$W = p \cdot Q$$

Midiéndose W en vatios, la presión en Pascal, y el caudal en metros cúbicos de líquido por segundo.

Muchas veces, en la práctica diaria es normal emplear como unidad de medida de potencia el caballo (CV), como unidad de presión se suele emplear el kg/cm², y como unidad de caudal litro por minuto. En este caso la fórmula anterior se transforma y escribe así:

$$W = \frac{Q(l/min) \cdot p(kg/cm^2)}{450}$$

Es importante señalar la gran influencia que tiene la presión hidráulica ya que cuanto más alta es la presión se necesita menor caudal para obtener una potencia determinada, lo que permite la construcción de equipos más pequeños y de menor peso. Esto explica la presión hidráulica a bordo (3.000 psi = 210 kg/cm², y especialmente 5.000 psi = 352 kg/cm² en el Airbus 380).

✓ Tipos de fluidos hidráulicos

- **Líquido hidráulico de origen mineral.** Empleado enormemente en aviación general. Utilizado en la carga de amortiguadores, frenos y sistemas hidráulicos completos. Se deben emplear retenes y mangueras sintéticas con estos tipos de líquidos. El líquido hidráulico estándar de este grupo tiene el número de especificación MIL-H-5606. En campo operacional de este líquido es de -54 °C a 135 °C. Se deriva del refinado del petróleo; tiene un color rojo, producido por un tinte que se mezcla en proporciones máximas de una parte de tinte por cada 10.000 de líquido. Su viscosidad es baja y es inhibidor de la corrosión. Se emplean cuando el riesgo de incendio es bajo.

Los líquidos MIL-H-5606 incorporan numerosos aditivos que mejoran las propiedades del líquido base. Así, se mezclan los aditivos depresores del punto de congelación, aditivos mejoradores del Índice de viscosidad, aditivos antiespumantes, antioxidantes, etcétera.

- **Líquidos hidráulicos sintéticos.** Pertenecen al grupo de los ésteres fosfatados, usados en los sistemas en los que el riesgo de incendio es alto. Con estos líquidos se deben utilizar sellos, retenes y mangueras de caucho etileno-propileno o de teflón.

Los líquidos hidráulicos sintéticos mejoran todos los índices y propiedades de los fluidos anteriores, salvo que son más oxidantes que los minerales.

Tienen tres grandes inconvenientes:

- Son muy caros
- Solo admiten elastómeros del tipo etileno-propileno en las juntas de estanqueidad del sistema
- Atacan fácilmente toda clase de pinturas, excepto las de poliuretano
- Su temperatura máxima de servicio es de 150 °C.

Se debe evitar la mezcla de los diferentes tipos de fluidos porque llegarían a perder las propiedades que inicialmente se buscaban. A la hora de seleccionar estos fluidos se deben de considerar algunas propiedades y características:

1. Viscosidad
2. Estabilidad química
3. Punto de ignición

4.4.2. Componentes del sistema hidráulico.

Los sistemas hidráulicos se emplean como medio para reforzar la acción de mando del piloto, tanto en vuelo, para mover los mecanismos del avión, como de manejo del mismo en tierra. Por esta razón el sistema hidráulico es uno de los llamados sistemas de potencia del avión.

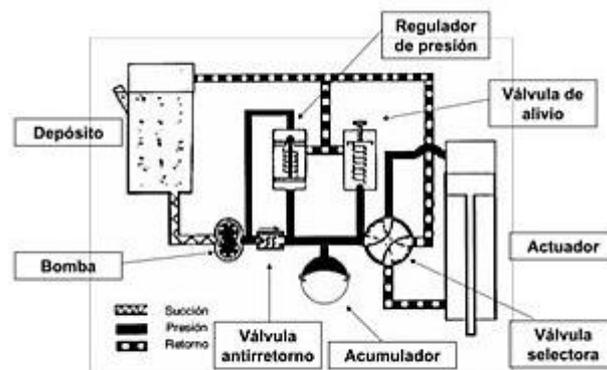


Figura N°94: Imagen referencial de sistema hidráulico y componentes principales.

- ✓ **Bomba.** La bomba aumenta la presión hidráulica hasta el valor nominal que precisa el sistema. Todos los sistemas hidráulicos de aeronaves tienen una o más bombas motorizadas y pueden tener una bomba de mano como unidad adicional cuando la bomba accionada por el motor no funciona. Las bombas de propulsión mecánica son la principal fuente de energía y pueden ser impulsadas por motor, impulsadas por motor eléctrico o impulsadas por aire. Como regla general, las bombas de motor eléctrico están instaladas para su uso en situaciones de emergencia o durante las operaciones en tierra.

Las bombas se expulsan por medios externos. La energía necesaria para impulsar las bombas se obtiene por:

- Motores eléctricos.
- Motor del avión, mediante una toma de potencia.

- Turbina de aire compacto movida por la presión dinámica del aire (de emergencia).

En los grandes aviones existen hasta tres sistemas hidráulicos independientes, cuyas bombas se accionan mediante combinación de los medios citados con anterioridad. De esta forma la fiabilidad de los sistemas es alta, pues resulta improbable un fallo que afecte a todos los sistemas al mismo tiempo.

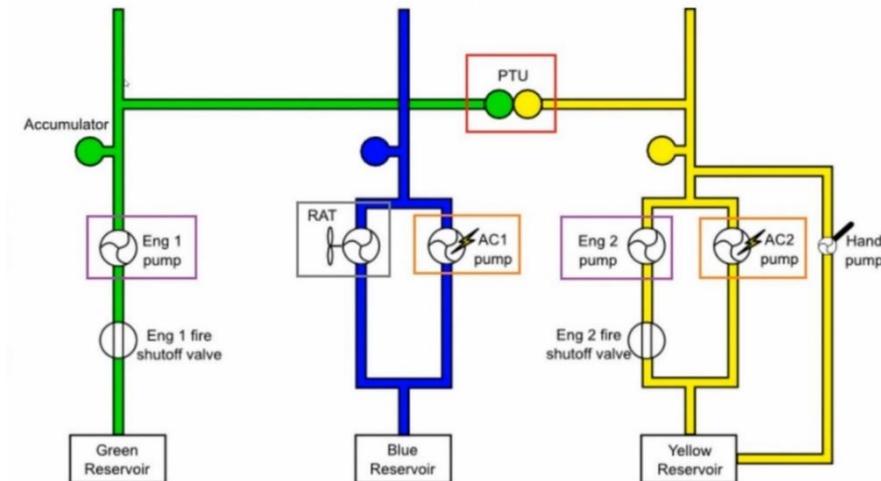


Figura N°95: Imagen referencial de los sistemas hidráulicos del avión.

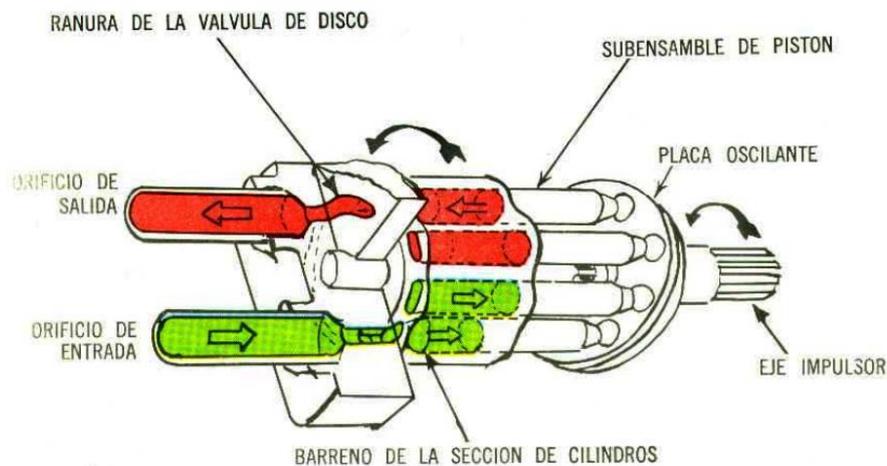


Figura N°96: Imagen referencial de la bomba de pistones.

- ✓ **Acumuladores hidráulicos.** Un acumulador es una especie de depósito capaz de almacenar una cierta cantidad de fluido presurizado para auxiliar al circuito hidráulico en caso de necesidad. Está compuesto por dos cámaras divididas por un diafragma de material flexible sintético (membrana). Una de las cámaras contiene el líquido hidráulico a la presión del sistema, y la otra tiene la carga del gas a presión. El gas es nitrógeno, que es poco activo desde el punto de vista químico

Las principales funciones de los acumuladores son:

- Prevenir el ciclaje de carga y descarga de la bomba hidráulica ante posibles fugas del líquido en el sistema.
- Amortiguar las oscilaciones de presión en el sistema. Esto se efectúa por medio de la compresibilidad del gas del acumulador.
- Suministrar presión de emergencia en caso de avería de la bomba hidráulica.
- Permitir la expansión térmica del líquido.

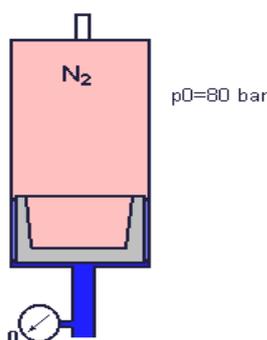


Figura N°97: Imagen referencial de acumulador hidráulico.

- ✓ **Depósitos.** El depósito hidráulico es el recipiente que contiene el líquido. El fluido circula desde el depósito a la bomba, donde se fuerza a través del sistema y, finalmente vuelve al depósito. El depósito no solo abastece las necesidades de funcionamiento del sistema, sino que también repone el líquido perdido por fugas. Además, el depósito sirve como un dique de contención para el exceso de líquido forzado a salir del sistema por la expansión térmica (aumento de volumen de fluido causado por los cambios de temperatura), los acumuladores, el pistón y el desplazamiento del actuador. El depósito también proporciona un lugar para que el fluido se purgue de las burbujas de aire que pueden entrar en el sistema. Las materias extrañas recogidas en el sistema también se pueden separar del fluido en el depósito o a medida que fluye a través de filtros de línea.

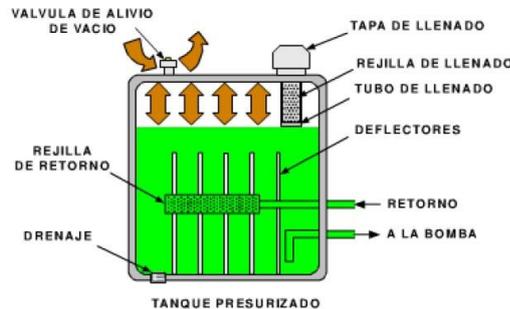
Las funciones generales de los depósitos son:

1. Almacenar el líquido que se emplea como medio transmisor de potencia.
2. Compensar las pérdidas debidas a fugas.
3. Actuar de regulador térmico.
4. Permitir la des emulsión de líquido.

Los depósitos utilizados en aviación suelen ser de dos tipos: presurizados y no presurizados.

- **Depósitos Presurizados.** Los depósitos en los aviones diseñados para el vuelo a gran altitud son por lo general presurizados. La presurización asegura un flujo a la bomba a gran altura cuando se encuentra a bajas presiones atmosféricas. En algunas aeronaves, el depósito es presurizado por aire; en otros, el depósito puede ser presurizado por la presión del sistema hidráulico. Como valor orientativo se puede decir que la presurización de los depósitos oscila entre $0,25 \text{ kg/cm}^2$ y 4 kg/cm^2 , según el tipo de sistema. Los depósitos pueden ser presurizados por: efecto Venturi, aire a presión o por émbolo.
- **Depósitos no presurizados.** Los depósitos no presurizados se utilizan en los aviones que no están diseñados para las maniobras exigentes, no vuelan a gran altura, o en los que el depósito se encuentra en la zona presurizada de la aeronave. La mayoría de los depósitos no presurizados tienen forma cilíndrica. La carcasa exterior está fabricada a partir de un metal fuerte resistente a la corrosión. Los filtros normalmente se instalan dentro del depósito para limpiar el sistema de retorno del fluido hidráulico. En general, los depósitos no presurizados utilizan un medidor visual para indicar la cantidad de fluido.

Figura N°98: Imagen referencial de un depósito.



- ✓ **Válvulas selectoras.** Tienen la misión de dirigir el líquido hidráulico a la parte adecuada del sistema. Se llaman también válvulas de control o distribuidoras. Tienen el propósito de aislar el sistema normal del sistema alternativo o de emergencia.

La estándar es de cuatro orificios, que conecta las líneas de presión y de retorno a los dos lados del martinete.

Se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- a) **Válvula selectora de corredera.** Se trata de una válvula de dos vías, porque hay dos vías posibles de paso. Se encuentran en numerosas aplicaciones en los sistemas hidráulicos de aviación y pertenece a la categoría de las válvulas medidoras.

- b) **Válvula selectora radial.** Es más simple que la corredera, normalmente de accionamiento manual y se utilizan en sistemas hidráulicos y combustible en aviación general.

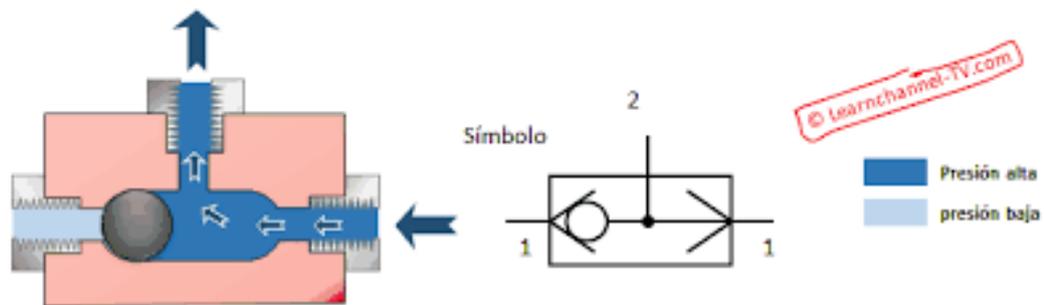


Figura N°99: Imagen referencial del efecto pascal.

- ✓ **Válvulas reductoras de presión.** Existen varios sistemas del avión que no necesitan la presión hidráulica nominal que suministran las bombas, por ejemplo, con el servicio de frenos.

En ocasiones se desea disminuir la presión hidráulica operativa de un sistema determinado con el fin de no sobrecargar de forma continua la estructura de soporte de los martinets.

En todos estos casos la válvula reductora reduce la presión, aguas abajo del punto donde está instalada, y la ajusta al valor previsto para los mecanismos enganchados a esa línea.

- ✓ **Fusibles hidráulicos.** Los fusibles hidráulicos funcionan igual que los eléctricos, es decir, cortan el paso del fluido cuando detectan un caudal excesivo en la tubería. De esta forma impiden que todo el fluido escape al exterior.

Existen dos tipos de fusibles, dependiendo de su funcionamiento:

- Uno detecta la caída de presión cuando hay fuga masiva del fluido.
- El otro detecta el excesivo caudal que pasa por el fusible.

- ✓ **Martinets.** Junto a los actuadores se encargan de transportar la presión hidráulica en fuerza mecánica. Se clasifican principalmente en dos clases: martinets de efecto simple y efecto doble. En los martinets de efecto simple el émbolo recibe presión hidráulica solo por una de sus caras, por tanto, tiene una carrera de trabajo. La recuperación se debe de realizar con ayuda de un medio externo, normalmente por la tensión de un resorte.

En los martinets de efecto doble es que se emplea más generalmente y en este caso el émbolo recibe por ambas caras para conseguir movimiento en los dos sentidos, por tanto, tiene dos carreras de trabajo y pueden ser de vástago simple, pasante y fijo.

- a) **Martinets de vástago simple.** Tiene como característica peculiar las áreas distintas de ambas caras del pistón. Produce más fuerza cuando se aplica la presión en la cara que no tiene vástago (son descompensados).

b) **Martinetes de vástago pasante.** Permite aplicar fuerza en ambas direcciones.

El vástago de pistón (variante de este) se prolonga en ambas direcciones para conseguir la misma superficie efectiva en el pistón.

c) **Martinetes de vástago fijo.** Los extremos del vástago están anclados en la estructura de la aeronave. El mecanismo de la aeronave que se desea mover se engancha a la camisa del cilindro.



Figura N°100: Imagen referencial del martinete del avión.

✓ **Intercambiadores de calor.** Utilizados especialmente en aeronaves de transporte. Enfrían el líquido hidráulico de las bombas hidráulicas, aumentando así la vida de servicio del fluido y de las bombas hidráulicas. Están localizados en los tanques de combustible y están compuestos de tubos recubiertos de aluminio para transferir calor del fluido hidráulico al combustible. Están situados en los tanques de combustible.

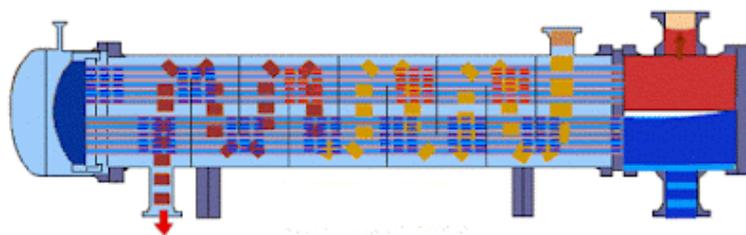


Figura N°101: Imagen referencial de un intercambiador de calor.

✓ **Actuadores.** Se trata usualmente de un cilindro accionado, que transforma energía en forma de presión en el fluido en fuerza mecánica para realizar trabajo. Es usado para transmitir un movimiento lineal a otros objetos movibles o mecanismos. Consiste básicamente en una carcasa cilíndrica, uno o más pistones y sus bielas, además de algunos elementos sellantes. Los podemos clasificar como:

- Simple efecto
- Doble efecto
- Actuador lineal
- Actuadores rotativos
- Motor hidráulico

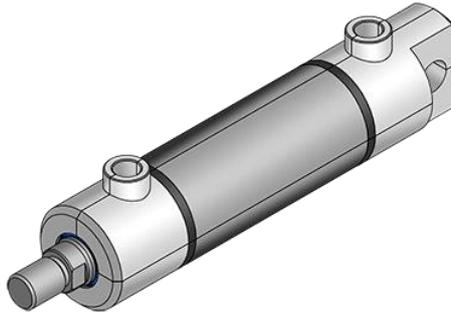


Figura N°102: Imagen referencial de un actuador.

✓ **Filtros.** Los filtros son dispositivos de control que impiden la contaminación del fluido, sobre todo la contaminación sólida. Este tipo de contaminación puede producir tres efectos en el sistema: impedir su funcionamiento, degradar la actuación y acelerar el desgaste.

En general, la fiabilidad y la eficiencia de todo el sistema depende de un filtrado adecuado. Existen dos tipos de ellos:

- **Filtrado superficial:** o filtración en barrera, que se produce cuando se retienen en la superficie de la malla filtrante las partículas cuyo tamaño supera el grado de filtración utilizado, por tanto, sirven como barrera y no dejan pasar tanto caudal de líquido.
- **Filtrado en profundidad:** se produce cuando las partículas contaminantes deben pasar por varias capas de mallas cuya porosidad disminuye en el sentido que avanza el líquido.

En función de su posición en el sistema hidráulico se pueden distinguir cuatro tipos de filtros:

1. **Filtro de alimentación.** Se sitúa delante de la bomba hidráulica, en la línea de alimentación, normalmente fabricado con malla de alambre.
2. **Filtro de pre alimentación.** Similar al anterior, pero con mayor capacidad filtrante.
3. **Filtros de derivación.** Cartucho fabricado de papel que tiene una imprimación de resina fenólica. El líquido no pasa por la malla filtrante, al menos en su totalidad.

4. Filtros de presión. Son los clásicos de salida de la bomba hidráulica. Su función es suministrar el líquido a todos los servicios hidráulicos de la aeronave con el grado de pureza previsto por el fabricante.

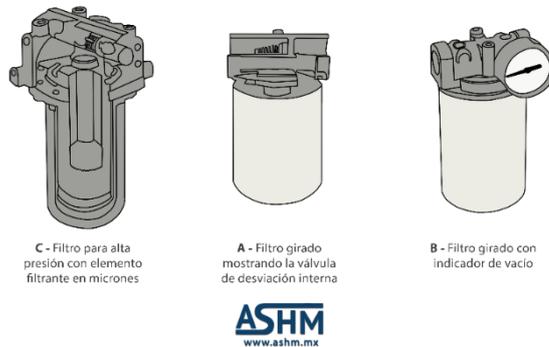


Figura N°103: Imagen referencial del filtro del avión.

4.4.3. Requisitos generales de los sistemas hidráulicos

De acuerdo con la normativa aeronáutica los sistemas hidráulicos de las aeronaves comerciales deben cumplir tres requisitos básicos, previos a la obtención de su Certificado de Tipo.

1. Requisitos de proyecto, tales como soportar sin deformación ni rotura la presión máxima más la carga máxima estructural o tener instrumentos para indicar la presión del fluido en el sistema.
2. Requisitos de ensayo, tales como los completos del sistema para ver que los elementos soportan sin deformación la presión, holguras aceptables, y ensayos completos de compatibilidad y funcionalidad.
3. Requisitos de protección contra incendios, donde se incluyen todas las normas que involucran fluidos inflamables de a bordo.

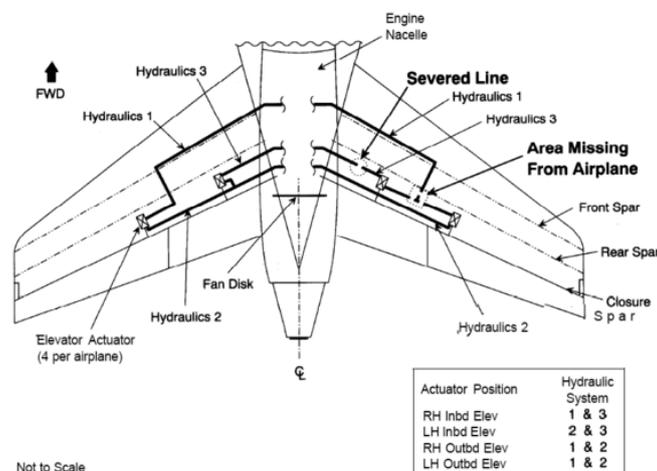


Figura N°104: Esquemática del sistema hidráulico de una aeronave.

4.5. TREN DE ATERRIZAJE

Es el elemento que se despliega cuando el avión se aproxima a la pista de aterrizaje, y lo recoge una vez que ha despegado. Es una pieza imprescindible y única de las aeronaves. Es la conexión entre el avión y el suelo. Técnicamente es una estructura formada por el conjunto de las ruedas, los soportes, los amortiguadores y diferentes equipos que utiliza un avión para maniobrar en la superficie y para aterrizar.

4.5.1. Utilidad

- Sirve como soporte general de un avión.
- Permite el movimiento de la aeronave en la superficie, tanto al despegar como al aterrizar.
- Amortigua y absorbe el impacto que genera el aterrizaje.
- En la superficie, el tren de aterrizaje debe tener capacidad de frenado y direccionamiento, lo cual hace a través de las ruedas.

4.5.2. Características

- Debe ser liviano y robusto a la vez; NO puede superar el 4% del peso total de la aeronave (no puede superar el 6% si son aviones con motor de hélice).
- Debe ser de fácil mantenimiento y de producción económica (por lo tanto, construcción sencilla).
- Deben ser de volumen mínimo (por la resistencia aerodinámica) pero su trocha lo más ancha posible.
- La capacidad de absorción de la energía cinética debe ser increíble, a tal punto que el impacto de los choques fuertes no debe transmitir en absoluto la sensación al resto del avión.
- Debe tener aceptables/suficientes características en su estabilidad direccional (rango y amplitud de giro y movimiento).
- Debe ser controlable a altas velocidades en tierra (en despegues y aterrizajes) porque cuando está en contacto, es la única pieza que mantiene el control.
- El mecanismo de retracción del tren debe tener características similares, es decir sencillo y robusto.
- El sistema de frenos debe ser eficaz, de poco desgaste y con buena/muy buena disipación del calor (ya que es muy alto el peso de la aeronave, no se puede recalentar y dejar de ser eficaz).

4.5.3. Tren de aterrizaje retráctil



Figura N°105: Tren de aterrizaje retráctil del avión.

Tiene un mecanismo hidráulico con el cual se pueden esconder o desplegar dentro de la estructura de la nave, todo en función de las necesidades del momento. Desde la cabina de mando, el piloto retrae o extiende el tren de aterrizaje con solo pulsar una serie de botones.

NOTA: la retracción y extensión de los trenes de aterrizaje puede ser por accionamiento hidráulico (mediante una palanca y fluidos en mangueras) o por accionamiento eléctrico (mediante un botón, cables, un alternador que hace circular la electricidad, fusibles para evitar sobrecargas, y básicamente contactos).

Tren de aterrizaje de toma de contacto



Figura N°106: Toma de contacto del avión.

Toma de contacto: Generalmente en la parte posterior de la aeronave, su brazo es más extenso y poseen una enorme amortiguación ya que deben ser capaces de soportar la presión del impacto; no tienen rotación (dirección) pero sí mucho movimiento vertical.

4.5.4. Partes

- Tren principal, diseñado para soportar el peso del avión y absorber los impactos del aterrizaje. Consta de dos soportes principales cada uno con sus respectivas ruedas y frenos, situados lo más cerca posible del centro de gravedad del avión, generalmente en el fuselaje a la altura del encastre de las alas o directamente debajo de las alas.
- Tren secundario (rueda de morro o rueda/patín de cola), que además de servir de apoyo estable al avión tiene capacidad direccional y se maneja mediante unos pedales en la cabina.
- Sistema de amortiguación, a base de amortiguadores hidráulicos, estructuras tubulares o planas (ballestas) o ambas cosas, para absorber el impacto del aterrizaje y las sacudidas cuando se rueda sobre terrenos accidentados.
- Sistema de frenos, que se instala exclusivamente en el tren principal y se acciona también mediante los pedales en la cabina.
- Sistema de extensión/retracción en su caso.

NOTA: El accionamiento hidráulico de las compuertas de retracción es muy común, lo podemos ver presente por ejemplo en el brazo de una retroexcavadora.

4.5.5. Sistema de funcionamiento

El tren de aterrizaje funciona básicamente por un sistema de retracción y de extensión, además de un mecanismo para el cierre de las compuertas y un sistema de amortiguación. La retracción y extensión dependen de una palanca específica para controlar el tren de aterrizaje.

A través de un sistema hidráulico se acciona el tren de aterrizaje, los actuadores hidráulicos, las trabas de las compuertas, el sistema de dirección de la rueda frontal y los frenos. También es posible que la energía usada para estas funciones sea electro-mecánica.

Al momento de aterrizaje, las gomas de las ruedas y las patas o ballestas son los componentes que amortiguan las grandes fuerzas que surgen. Los amortiguadores absorben las fuerzas del impacto cuando el avión aterriza y en muchos casos devuelven dichas fuerzas al hacer que reboten en la pista.

Los pedales en cabina están diseñados para una operación dual de manera que:

- Pisando sobre la parte inferior de los pedales se actúa sobre el timón de dirección y la rueda directriz, ya sea de cola o de morro, haciendo que el aeroplano gire hacia el lado del que se pisa.
- Dependiendo de la presión ejercida el viraje será mayor o menor.
- Pisando sobre la parte superior se actúa sobre los frenos. Como veremos más adelante, cada rueda del tren principal tiene su propio freno de manera que puede frenarse una rueda u otra, o las dos. La frenada diferencial puede ayudar a virar el avión en espacios estrechos.
- Obviamente, la intensidad de la frenada depende de la presión ejercida en los pedales.



Figura N°107: Imagen funcionamiento en tierra de los pedales.

En aviones pesados el giro de la rueda delantera se logra mediante un sistema hidráulico que sustituye a los cables y barras de los aviones pequeños.

4.5.6. Amortiguación.

El sistema de amortiguación tiene como finalidad disminuir la carga que supone la toma de tierra durante el aterrizaje, así como la rodadura sobre terrenos irregulares, evitando el deterioro de la estructura del avión a la vez que aporta comodidad y seguridad a tripulación y pasaje.

La solución, muy extendida también en aviación general, consiste en dotar de amortiguadores no solo al tren secundario -rueda delantera- sino también a las patas del tren principal. Esta solución es típica de las Piper y otros aviones de plano bajo, y la única viable en trenes retráctiles y en grandes aviones.

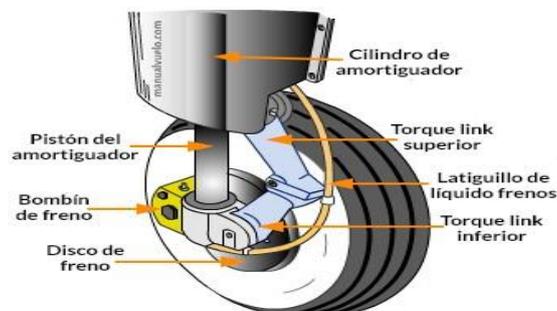


Figura N°108: Pata de tren principal en las alas.

Un amortiguador consiste en un cilindro, fijado por su extremo superior a la aeronave, dentro del cual se desliza arriba y abajo un pistón, cuyo extremo inferior se fija al soporte de la rueda del tren de aterrizaje.

La parte inferior se llena con fluido hidráulico y el espacio restante que queda en el cilindro superior se llena con aire comprimido o nitrógeno; el pistón incorpora una placa con uno o varios orificios que permiten al fluido hidráulico pasar de un lado a otro. A través de un orificio pasa una aguja cónica que al moverse arriba y abajo a la par que el pistón controla el paso del líquido hidráulico entre ambas partes.

La velocidad a la que el fluido hidráulico entra y sale de la cámara superior, o lo que es lo mismo la rapidez con la que ocurre la compresión y expansión del gas, está controlada por el paso que deja la aguja reguladora en el orificio. Esta restricción al paso del fluido hidráulico a través del orificio es la que amortigua el movimiento del pistón arriba y abajo.

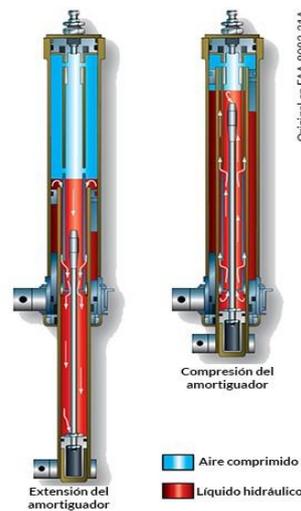


Figura N°109: Actuador hidráulico.

En otros modelos el paso del líquido hidráulico de una a otra cámara se regula mediante unos cilindros concéntricos, cada uno con agujeros de distinto diámetro. A medida que el pistón sube lo hacen también los cilindros con agujeros más pequeños que van taponando parcialmente los agujeros más grandes dificultando así el tránsito del líquido. Cuando baja sucede lo contrario, bajan los cilindros con agujeros más pequeños dejando al descubierto los que tienen agujeros más grandes.

Con el avión desplazándose en tierra, el movimiento del amortiguador es poco pronunciado y el trasiego del líquido hidráulico entre cámaras es poco perceptible, aunque suficiente para absorber las cargas ejercidas sobre el tren de aterrizaje.

En el despegue el amortiguador se extiende con lo cual el gas de la cámara superior se expande y fuerza al líquido a pasar a través del orificio procurando de esta manera que la extensión del amortiguador se haga con suavidad.

Durante el aterrizaje la compresión del amortiguador fuerza al fluido hidráulico a pasar hacia la cámara superior donde comprime al gas el cual hace de resorte para absorber el impacto de la toma de contacto.

4.5.7. Frenos.

El sistema de frenos tiene como objetivo aminorar la velocidad del aeroplano en tierra, tanto durante la rodadura como en la fase final del aterrizaje, y por supuesto pararlo.

Este sistema tiene dos características especiales: una, que solo se instala en el tren principal, nunca en las ruedas directrices; y dos, que cada rueda del tren principal dispone de un sistema de frenado independiente. El líquido de frenos está contenido en un recipiente común; desde este depósito unos latiguillos llevan el líquido a dos bombines situados cada uno en la parte superior de los pedales. Al presionar sobre esa parte del pedal, el líquido contenido en el bombín de ese lado es bombeado hacia la rueda correspondiente; otro bombín en la rueda recibe esta presión y empuja a las pastillas las cuales oprimen al disco metálico y frenan la rueda. Al presionar el otro pedal, sucede lo mismo con el sistema de ese lado, y obviamente al presionar los dos pedales se opera sobre ambos sistemas.

Freno de aparcamiento. Para mantener el avión el avión frenado en el suelo, el sistema cuenta con un freno de aparcamiento que actúa sobre ambas ruedas. El mando de este freno varía de un avión a otro: puede ser un mando de varilla que teniendo los frenos pisados los bloca y se desactiva al volver a pisar los frenos (Cessna); una palanca que al tirar de ella bloca los frenos, con un botón para mantenerla en posición de bloqueo (Piper); o un dial que al girarse hacia un lado activa este freno y hacia el otro lo desactiva (Socata Tobago); etc.

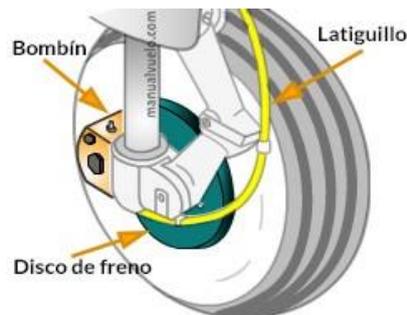


Figura N°110: Freno de disco.

4.5.8. Tren retráctil.

El tren retráctil funciona recogiendo las patas y las ruedas en unos receptáculos preparados al efecto, en el fuselaje o las alas para el tren principal. Además del mecanismo de extensión/retracción, el tren retráctil cuenta, lo mismo que el tren fijo, con su sistema de amortiguación, frenos en las ruedas, etc. El sistema incluye además un dispositivo de bloqueo de las patas del tren cuando está extendido. La

extensión y retracción del tren se realiza de forma eléctrica o hidráulica, en respuesta al accionamiento de una palanca situada en el cuadro de mandos.



Figura N°111: Tren de aterrizaje retráctil.

4.5.9. Análisis de diseño.

✓ Elección del tipo de amortiguador óleo-neumático.

Los amortiguadores óleo-neumáticos absorben energía “empujando” una cámara de líquido hidráulico contra una cámara de aire seco o nitrógeno y luego comprimiendo ambos. La energía se disipa por medio del pasaje del líquido hidráulico a través de uno o varios orificios y, luego del primer impacto se controla el rebote por la fuerza que ejerce el gas sobre el émbolo, que a su vez actúa sobre el líquido hidráulico, forzándolo a pasar por los orificios de retroceso hacia la cámara correspondiente. Si el líquido hidráulico retrocede demasiado rápido, la aeronave rebota en demasía; si lo hace con demasiada lentitud, las protuberancias de la pista de longitud de onda corta, no serán adecuadamente amortiguadas debido a no haberse restituido a su posición estática a tiempo.

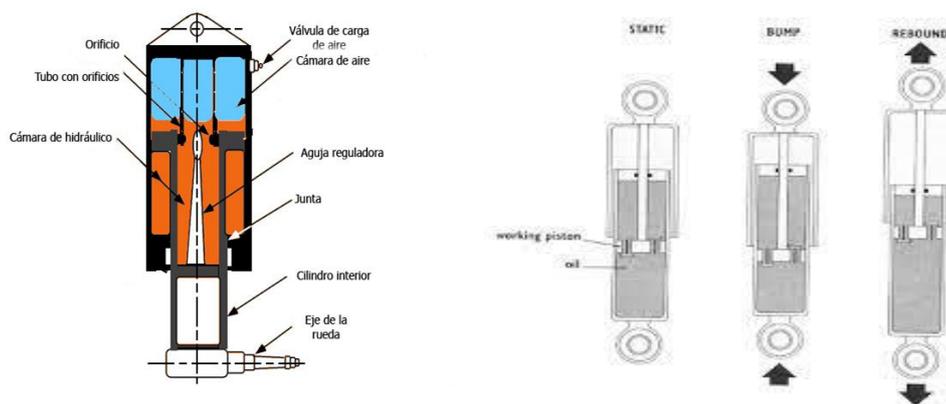


Figura N°112: Amortiguadores.

✓ **Determinación de la carrera del amortiguador.**

La resultante de la resta entre el amortiguador completamente extendido y el amortiguador completamente comprimido.

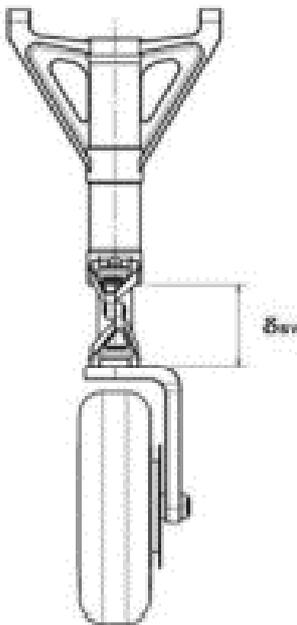
Para determinar la carrera del amortiguador se utilizará el método de la relación trabajo/energía
Cambio en la energía cinética = trabajo de reducción de la velocidad vertical a cero.

$$0 - \frac{WV^2}{2g} = -\delta_{sv} * \eta_{sv} * n_z W - \delta_t * \eta_t * n_z W + (W - L) * (\delta_{sv} + \delta_t)$$

Ecuación relación trabajo/energía

Donde, (W) Peso de la aeronave, (V) Velocidad vertical de descenso, (g) Aceleración de la gravedad, (L) Sustentación, (n_z) Factor de carga, (δ_{sv}) Desplazamiento relativo entre el vástago y el cilindro, (η_{sv}) Eficiencia del amortiguador, (δ_t) Deflexión del neumático, (η_t) Eficiencias del neumático.

A continuación, se muestra una imagen que indica cuál es (δ_{sv}):



$$V = 4.4 \sqrt{\frac{W}{S}} = 9.19 \left[\frac{ft}{seg} \right] = 2.8 \left[\frac{m}{seg} \right], \frac{L}{W} = \frac{2}{3} \text{ y } \frac{W}{S} = 19.054 \frac{lb}{ft^2}$$

$$\text{y estableciendo } n_z = 3, \eta_{sv} = 0.8, \delta_t(n_z = 3) = 0.2303[ft], \eta_t = 0.42 \text{ y } g = 32.2 \left[\frac{ft}{seg^2} \right]$$

queda:

$$\delta_{sv} = \frac{\frac{4.4^2}{2g} \sqrt{\frac{W}{S}} - \delta_t \left[n_z * \eta_t - \left(1 - \frac{L}{W} \right) \right]}{\eta_t * \eta_{sv} - \left(1 - \frac{L}{W} \right)}$$

$$\delta_{sv} = 0.5302[ft] = 6.363[in] = 0.0162[m]$$

Figura N°113: Carrera del amortiguador.

✓ **Carga en el amortiguador**

Se establece como primera aproximación que la presión bajo carga estática máxima [Lb] dentro del amortiguador será 1500[psi]. Con ello, se calcula el área del émbolo

$$A_e = \frac{\text{Carga Máx Estática}}{1500[\text{psi}]}$$

Diámetro con los estándares en posición extendida

$$\phi_e = \sqrt{\frac{4}{\pi} A_e}$$

Presión estática del gas

$$P_{est} = \frac{\text{Carga Máx Estática}}{A_e}$$

De la sub-sección anterior se sabe que el desplazamiento relativo del pistón con el cilindro entre las cámaras de aceite-aceite. Proponiendo que el diámetro de la camisa del amortiguador tenga se obtiene la relación abajo presentada entre los desplazamientos del pistón y del émbolo. Se establece la convención de que la cámara superior de aceite tiene el subíndice 2, mientras que la cámara inferior de aceite tiene el subíndice 1:

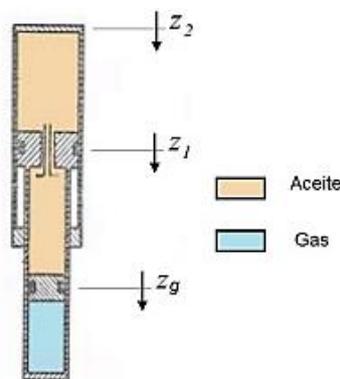


Figura 1.3. Convención de signos de Zg y Z1

$$d(vol_1) = A_1 * Z_g$$

$$d(vol_2) = A_2 * Z_1$$

Figura N°114: Convención de signos.

Dado que se considera que el aceite es incompresible y que se transfiere de una cámara a otra.

✓ **Dimensionamiento del orificio de pasaje de líquido hidráulico**

Hay dos formas de controlar el pasaje del líquido hidráulico entre las dos cámaras: con orificios simples con orificios planos o de sección variable, logrados generalmente con una aguja de sección variable o con válvulas hidráulicas. Se pueden lograr eficiencias de amortiguación entre 80 y 85 por ciento con orificios simples, pero éstos resultan demasiado pequeños para el confort durante taxi, lo cual, para el UAV no es un inconveniente, ya que no se transportan pasajeros, sólo es necesario que las aceleraciones del fuselaje no excedan las tolerancias de los equipos a

$$A_a[in^2] = \frac{0.3A_p}{r} \sqrt{\frac{A_p \cdot \delta_{sv \text{ tot}}}{W}}$$

bordo. Además, para aeronaves medianas y pequeñas, este factor no es de gran relevancia. El área del orificio se puede calcular como:

donde, A_p Área del pistón, r Carga aplicable / carga estática, $\delta_{sv \text{ tot}}$ Carrera total del amortiguador [in], W Carga estática en el amortiguador [Lb].

✓ **Dimensionamiento de los cojinetes del amortiguador**

Se hace un análisis de fuerzas y momentos para la pata de tren, que es telescópica, para conocer el alto del apoyo necesario para que sea estable estructuralmente al pandeo. Las fuerzas y reacciones básicas actuando en el amortiguador telescópico y los parámetros geométricos más importantes se muestran en la siguiente figura.

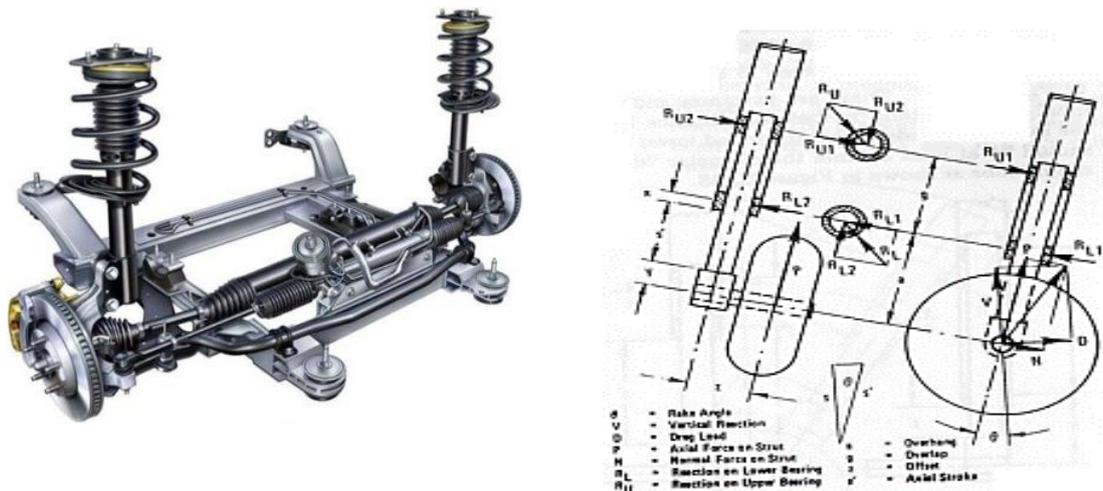
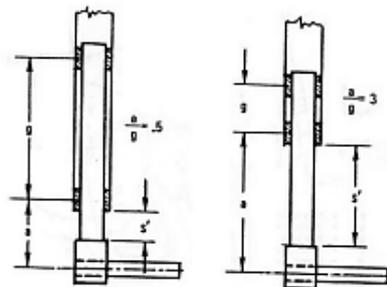


Figura N°115: Geometría y fuerzas básicas en un tren de aterrizaje

Las fuerzas V (fuerza vertical por la reacción del suelo) y D (fuerza de frenado) en el eje de la rueda y las P y N para el tren analizado son iguales respectivamente dado que el vástago se encuentra vertical. La componente de reacción vertical está dada por el aire comprimido dentro del mismo vástago, que está en equilibrio con el aceite hidráulico, y por la fricción de los cojinetes. La reacción a la componente transversal la brindan las fuerzas normales de los cojinetes; RL1 y RU1. La excentricidad z el caso analizado es nulo. Las resultantes RL y RU se muestran en las secciones de los cojinetes. Las magnitudes de estas fuerzas son (proponiendo todas las fuerzas y momentos con el mismo sentido).

$$\begin{aligned} \sum F_x &= R_{U1} + R_{L1} + D = 0 \\ \sum F_y &= R_{U2} + R_{L2} = 0 \rightarrow R_{U2} = -R_{L2} \\ \sum M_x &= zP + aR_{L2} + (a + g)R_{U2} = 0 \rightarrow 0 + aR_{U2} (1 - 1) + g R_{U2} = 0 \rightarrow R_{U2} = R_{L2} = 0 \\ \sum M_y &= a R_{L1} + (a + g)R_{U1} = 0 \end{aligned}$$



Las alturas de los cojinetes eU y eL están limitadas por la tensión en los mismos, que no debe exceder los 5500 [psi] bajo carga. La fuerza en los cojinetes se calcula utilizando las áreas proyectadas de los mismos (*Área proyectada cojinetes = e * d*):

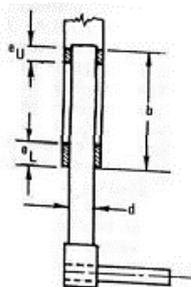


Figura N°116: Alturas de los cojinetes del amortiguador.

La longitud (La) del conducto abierto de pasaje de aceite hidráulico del pistón debe coincidir con la altura del “cojinete” superior, ya que es el mismo pistón el que le ofrece el apoyo necesario.

CAPITULO V

5. ANÁLISIS CINÉTICO Y CINEMÁTICO (RESULTADOS)

5.1. FUERZAS DE VUELO.

Cinemática y cinemáticamente las fuerzas que actúan en el avión describen una trayectoria con respecto a un marco inercial de referencia ya que las fuerzas existen, porque existe movimiento del avión, entonces el avión se desplaza sobre una línea recta antes de ascender y en el vuelo el desplazamiento es variable.

Podemos decir que el avión al momento de adquirir velocidad entra en movimiento, describiendo una determinada trayectoria, ahora bien, también se toma en consideración la masa del avión la cual es opuesta a la fuerza de sustentación lo cual hace que el avión se mantenga en el aire, entonces todo ello se va a tomar en cuenta para poder entender el movimiento del avión comercial.

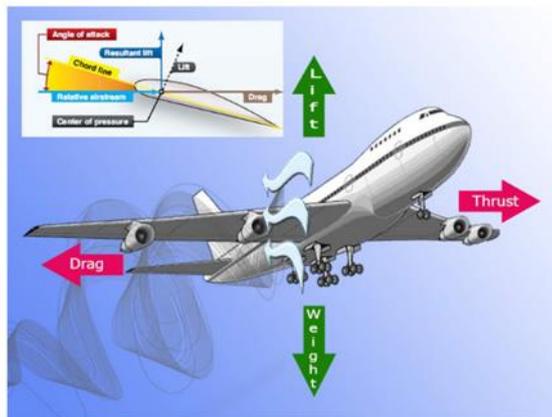


Figura N°117: Fuerzas de vuelo.

Asimismo, se realizaron dos experimentos para entender la generación del movimiento en el avión:

✓ Experimento N° 1.

Efecto Bernoulli en hoja de papel:

El experimento siguiente consiste en probar el principio Bernoulli de una forma muy básica y entendible. Este experimento consiste en usar una hoja de papel, y puede ser de cualquier tipo para hacer este experimento.

Lo que vamos a observar es que la fuerza de sustentación eleva hacia arriba en vez de impulsar hacia abajo.

Al tomar una hoja de papel y cogerla de un borde, al soplar por encima de ese borde con fuerza, el aire pasa a una velocidad alta, la fuerza de sustentación hará que la hoja se eleve.



Figura N°118: Experimentación 1.

✓ **Experimento N° 2.**

Para poder hacer y entender el siguiente experimento hay que comprender que tanto el agua como el aire son fluidos y que estos fluidos entre más velocidad tengan la presión disminuye, y entre menor sea la velocidad, más presión habrá, por eso probaremos el Principio de Bernoulli con el agua y el aire. Lo que necesitaremos para realizar este experimento es muy básico y se puede conseguir en casa. Estos materiales son, un bidón de agua, un recipiente y una pelota colgando a la misma altura de donde se va a derramar el agua al recipiente. Lo que vamos a hacer es derramar el agua del recipiente cerca de la pelota, después vamos a poner la pelota a balancear y podremos ver algo increíble.



Figura N°118: Experimentación 2.

Como podremos observar al realizar este experimento, lo que pasa es que, al agua al ser un fluido, e ir a mayor velocidad que el aire que rodea la zona donde se encuentra el agua, tiene una presión baja ya que como ya sabemos, entre más velocidad menos presión, y al pasar esto, la pelota tiende a irse a la zona con menos presión y quedarse ahí, y es la fuerza de sustentación la que la lleva hacia esa dirección.

✓ **Resultados del experimento:**

La explicación de por qué los aviones vuelan es muy simple. Estas increíbles máquinas vuelan gracias a que sus alas al volar, hacen que el viento pase muy rápido y crean menor presión en el avión y así con la fuerza de sustentación se elevan, pero el avión no puede hacer esto solo, por eso necesita del motor y los controles de vuelo para una mayor estabilidad y movimiento.

5.2. SUPERFICES DE CONTROL

En análisis cinético y cinemático se centra en la descripción de los movimientos interconectados y conjuntos de las partes de la superficie de control, los cuales dan sentido al movimiento en el espacio del avión comercial.

Las superficies de control son una de las partes más importantes del avión para poder manipularlo durante el vuelo, observamos que los movimientos de las partes que lo componen como los alerones, flaps, etc., están condicionados, es decir solo tienen un cierto grado de libertad, de esta manera se puede controlar mejor los movimientos del avión en cualquier circunstancia utilizando los controles de vuelo básico (sixpaxs).

Donde los alerones, los flaps, tabs, slats, se mueven con un tipo de movimiento rotacional a lo largo de eje lateral con un cierto grado de libertad, su fin o su función es la de dar estabilidad y seguridad durante el vuelo al avión.

Los slats, se despliegan para incrementar la sustentación que genera el ala, además ayudan a incrementar el ángulo de ataque máximo que pueden alcanzar, de esta manera se varía la aerodinámica durante el despegue y el aterrizaje.

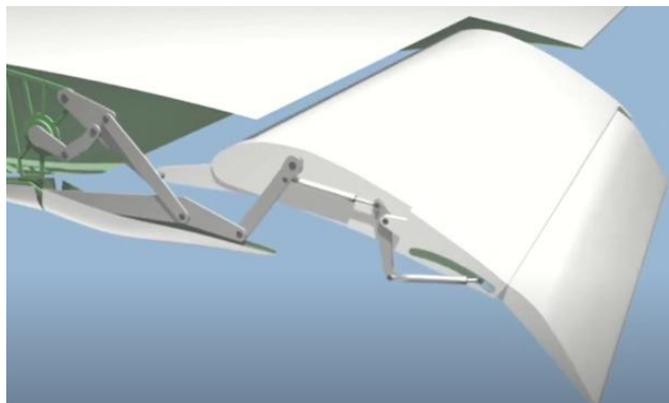


Figura N°119: Slats del avión

El ala genera sustentación durante el vuelo. Cuando se deflacta una semi ala, el flujo del aire se afecta y la sustentación de esta semi ala, disminuye provocando un desbalance de sustentación, y en consecuencia un momento de alabeo al deflactar el spoiler opuesto. Si los spoilers se deflactan al mismo tiempo, entonces la sustentación de ala disminuye y ocasiona que el avión pierda altitud y disminuya su velocidad, este uso es indispensable durante el aterrizaje para que el avión se quede en tierra, además al despegar los spoilers el arrastre aumenta, esto contribuye a frenar el avión.



. Figura N°120: Spoilers del avión.

5.3. GRUPO MOTOPROPULSOR

Para hacer el análisis cinético y cinemático identificamos las partes mecánicas que conforman el grupo moto propulsor en donde se puede estudiar su movimiento desde un enfoque dinámico.

Podemos describir su movimiento de la siguiente manera:

El componente principal que da movimiento a los mecanismos es el aire, esta brinda junto con el combustible la energía necesaria para que de forma sencilla se pueda concluir que todos los cuerpos rígidos (mecanismos) que integran el motor de reacción, tengan un movimiento de rotación alrededor de un eje fijo.

Lo que se busca es generar el movimiento de traslación del avión, el cual se deriva en el tiempo en un movimiento general en el espacio, por lo que el movimiento de rotación alrededor de un eje fijo de los mecanismos del motor tiene como finalidad generar un chorro de alta densidad y velocidad, como reacción, para generar empuje, para que de esa manera el avión se pueda moverse hacia adelante, por la tercera ley de newton.



Figura N°121: Acción y reacción en el motor turbofán.

Empuje:

$$F_N = \dot{m}_e v_{he} - \dot{m}_o v_o + BPR(\dot{m}_c v_f)$$

Al poner el funcionamiento el motor de reacción de un avión, se genera un impulso proveniente del motor de arranque, con suficiente potencia para poner en funcionamiento el cuerpo rígido turbina describiendo en el marco inercial (avión) un movimiento de rotación alrededor de un eje fijo. Este será vital en un primer momento para brindarle energía de rotación al fan, esto se traduce en su movimiento de rotación alrededor de un eje fijo. Con el fan en funcionamiento se empieza a absorber aire, y este propicia que el sistema de compresores empiece a tener movimiento de rotación alrededor del mismo eje de la turbina, en su parte rotor, sin embargo, su parte estator permanece estático sirviendo para regular la temperatura y presión del aire, que pase a la cámara de combustión. El aire absorbido se hace enorme acelerando de forma gradual la velocidad de rotación del fan y actúa como un combustible que mantiene en funcionamiento después del arranque a todos los sistemas de forma continua. La masa de aire absorbida como el combustible actúan como energía que dará movimiento a todos los sistemas del motor de reacción generalmente de rotación alrededor de un eje fijo y el movimiento general en el plano del avión.

Tener en cuenta que el aire se divide en dos el principal el que pasa y da movimiento a los mecanismos y el secundario que sirve para refrigerar el sistema en movimiento, estos dos finalizan en la generación del empuje en avión.

Después de obtener conservación de movimiento en el sistema, podemos describir como interactúan y como se generan sus movimientos, con el objetivo de convertir el aire frío absorbido en aire denso y caliente, que genera empuje.

En primer lugar, la enorme masa de aire principal absorbida, pasa a un conjunto de etapas compresoras que describen un movimiento de rotación alrededor de un eje fijo en sus componentes rotores (álabes rotativos) estos, junto con sus componentes estatores (estáticos) añaden energía al fluido y su temperatura y presión aumentan a un nivel adecuado para mantener la combustión en la cámara de combustión que es donde se le agrega el combustible y la chispa. El fluido de alta energía que sale de la cámara de combustión, hace girar a los alabes de la turbina que se le brindan un movimiento de rotación alrededor del mismo eje de la etapa compresora, es así que el compresor recibe la energía para la rotación de la turbina. Estos movimientos generados por el aire, mantiene en un continuo funcionamiento al sistema, además logramos un aire caliente, continuo y de alta velocidad que, junto con el aire secundario de refrigeración, son emitidos por las toberas de escape, el cual tiene un diseño estrecho y convergente para obtener un empuje aún mayor. El funcionamiento de los movimientos sincronizados del compresor, la cámara de combustión y la turbina hacen que el avión tenga un movimiento general en el plano y avance.

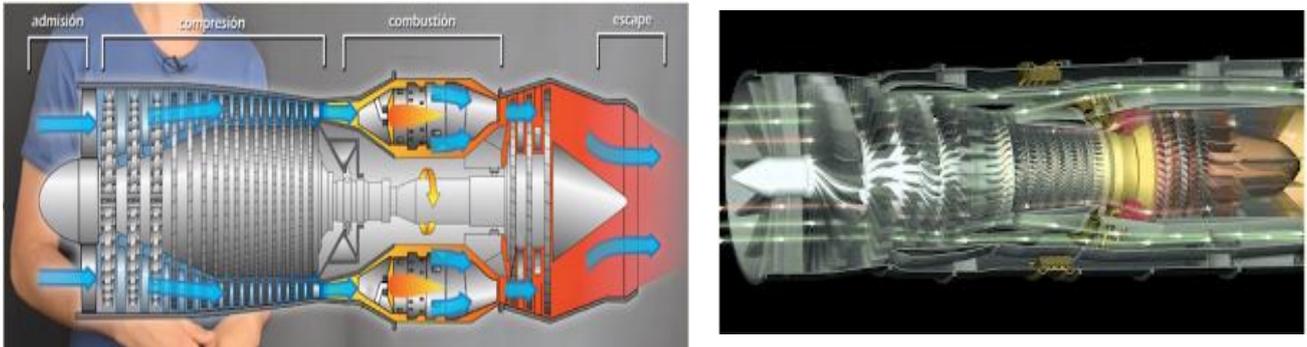


Figura N°122: Movimiento de los mecanismos.

5.4. SISTEMA HIDRAULICO

- El motor para cada sistema hidráulico ejerce un momento y este hace que el eje gire con movimiento de rotación respecto al eje axial que pasa por el centroide transmitiendo energía mecánica a la bomba.

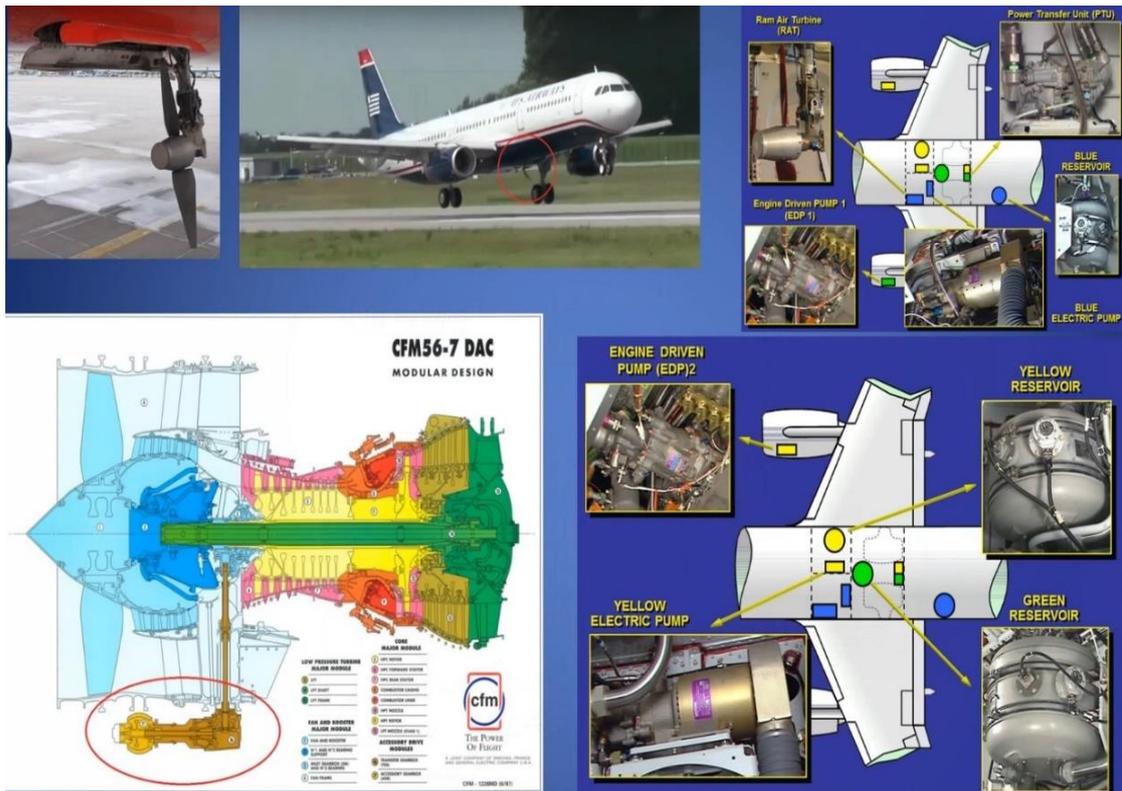


Figura N°123: Accion del motor al eje de la bomba.

- Luego al estar conectada al plato oscilante el cual tiene cierta inclinación, hará que este gire con velocidad angular, es decir rotación respecto a un eje instantáneo.

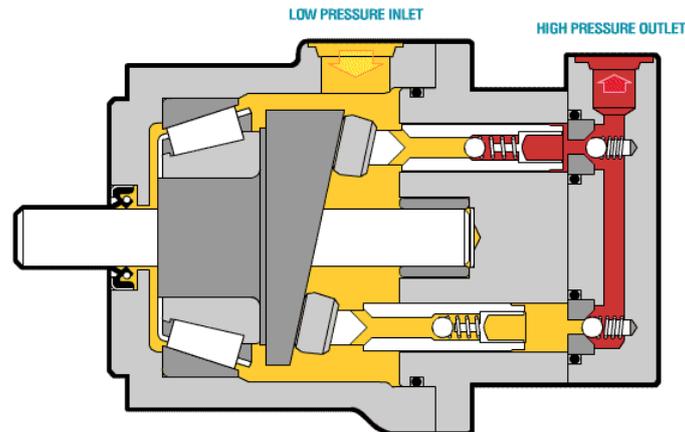


Figura N°124: Bomba de pistones.

- En el plato oscilante hay aberturas en donde entran las zapatas de los pistones los cuales estarán en movimiento de traslación, aprovechando el resorte que tiene dentro, es decir fuerza elástica, gracias a la inclinación del plato habrá una diferencia de volúmenes de líquido incompresible generando presión (principio de pascal).
- En consecuencia, como los componentes antes mencionados realizan trabajo y también disipan energía, se generará potencia hidráulica, al final convirtiéndose y transmitiendo energía hidráulica.
- Las válvulas selectoras, funcionaran de acuerdo a la presión que se le ejerce al fluido aprovechando de la ley de Bernoulli, por lo que distribuirá el fluido al componente mecánico que se desee y si la presión es mucha funcionará como válvula rompe presión.

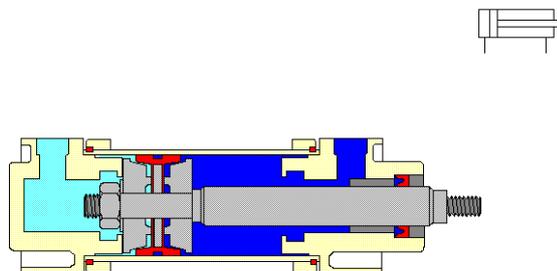


Figura N°125: Imagen referencial de un actuador hidráulico.

- Para hacer funcionar a cualquier componente mecánico, usaremos los actuadores o cilindros hidráulicos los cuales, debido a la presión del líquido, harán que su pistón tenga movimiento de traslación. Para este no se quede comprimido habrá resortes los cuales generaran fuerza elástica, por lo que al final se convertirá la energía de presión del fluido (hidráulica) a energía mecánica que haga trabajo.
- El fluido hidráulico considerándose como un sistema de partículas, debido a la presión y aprovechando a la ley de Bernoulli tendrá un movimiento de traslación con cierta velocidad o caudal por sus conductores, disipando energía cinética y energía potencial en su recorrido.



Figura N°126: Distribución del fluido del sistema hidráulico.

5.5. TREN DE ATERRIZAJE

Para hacer la descripción cinética y cinemática del tren de aterrizaje hay que entender que los aviones comerciales no solo vuelan, también recorren sobre tierra, siendo los neumáticos los que soportan los esfuerzos y las tensiones enormes durante esta acción.

Las ruedas de los aviones giran libres; en un primer momento tienen un movimiento en el plano con rodadura y desplazamiento, pero a medida que el avión avanza aceleran, hasta alcanzar la misma velocidad del avión es en este momento que tienen un movimiento en el plano con rodadura, siendo esta última determinada por un eje fijo que une los dos neumáticos que lo conforman de manera horizontal.

Si particularizamos el movimiento de la rueda, nos centramos en un neumático en el cual podemos identificar el centro instantáneo de velocidad nula durante la rodadura y la fuerza de fricción que le da desplazamiento al inicio del movimiento.

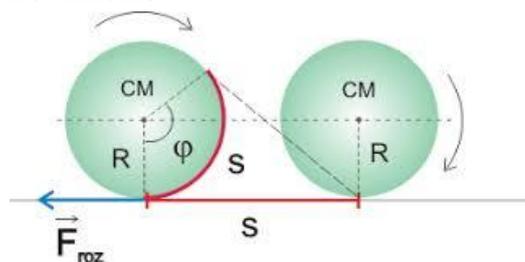


Figura N°127: Rodadura de un cuerpo rígido (neumático).

Como el análisis del movimiento es bidimensional, podemos darnos cuenta que justo en el centro de masa es por donde pasa un eje fijo que sincroniza el movimiento rotacional del sistema.

El tren de aterrizaje es operado de forma hidráulica y ejecutado electrónicamente. Contado con un sistema de extensión rígida por gravedad (caída libre) que permite extender el tren de aterrizaje, incluso si falla el sistema hidráulico.

Un sistema de dirección accionado hidráulicamente hace que las ruedas de morro (tren secundario) tengan un movimiento general en plano con rodadura. La rueda de morro es doble y tiene capacidad de guiado contando con amortiguadores en movimiento de traslación en su extensión, del tipo óleo neumático (Nitrógeno/aceite).

✓ **Movimiento del tren principal**

El primero en moverse es el actuador principal o martinete hidráulico principal, con un movimiento de traslación restringido en su extensión, contraendose para entregar al tren de aterrizaje un movimiento de rotación alrededor de su mismo eje. El mismo actuador se extiende en movimiento de traslación para retraer el tren. Al final del proceso de extensión, existe un muelle que tira hasta hacerlo pasar al punto central. El sobre centrado de este elemento gracias al muelle obliga a la extensión completar el llamado “tirante principal” que deja estático al tren de aterrizaje en la posición extendida.

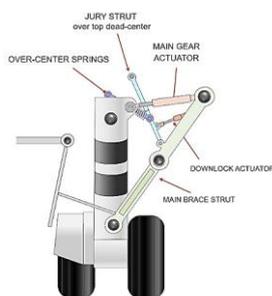


Figura N°128: Componentes del tren de aterrizaje.

✓ **Retracción del tren**

La pieza de bloqueo la cual se mantiene estático, debe ser retraído mediante un movimiento de traslación, el cual se acciona hidráulicamente. La cuál está formado por un actuador y una barra. Ésta se encuentra articulada por un extremo con dicha manivela y, por el otro, con un elemento que describe un movimiento alternativo. Al girar la rueda, este transmite un movimiento circular al actuador de bloqueo el cual experimenta un movimiento de vaivén. El actuador principal empuja el tren en movimiento de traslación para que este se pliegue hacia el interior del fuselaje.

Existiendo dos sensores de proximidad para mandar la señal de bloqueo del tren. instalados en el “jury strut”. Cuando este se encuentra completamente extendido, los contactos de los sensores se tocan para cerrar un circuito que indica que el tren está bloqueado en la posición extendida.

Generando un desplazamiento según el cual cada parte del cuerpo rígido experimenta el mismo desplazamiento vectorial respecto al marco de referencia, trazando una línea en el cuerpo que permanece paralela a su orientación original durante todo el movimiento

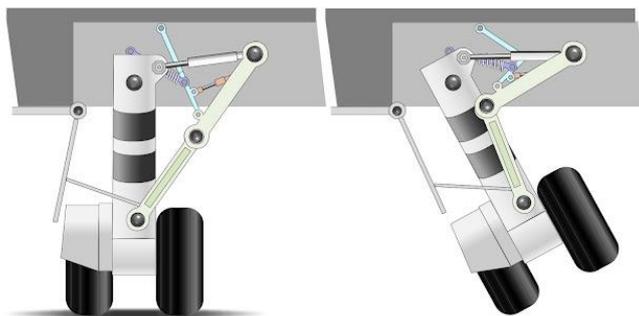


Figura N°129: Movimiento del tren de aterrizaje.

✓ **Tren de aterrizaje de morro**

El tren de morro tiene dos ruedas y un amortiguador oleo neumático. Un conjunto llamado “torque link” evita que el amortiguador se tuerza. Un cable se extiende en movimiento de traslación desde la parte inferior del tren de morro entre ambos neumáticos. Cada puerta del tren de morro tiene dos correas o tiras para las bisagras de la puerta delantera.

El actuador principal del tren delantero mueve este durante los procesos de retracción y extensión. El proceso de extensión, los muelles de sobre centrado fuerzan al “jury strut” a extenderse completamente sobre el punto medio para bloquear el tren en la posición extendida. Durante el proceso de retracción, el actuador de bloqueo tira del “jury strut” y de los muelles para plegarse hacia dentro desde el punto de sobrecentrado para luego activar un gancho de bloqueo hidráulico para mantener este en la posición retraída.

Generando rotación alrededor del eje fijo del sobrecentrado (haciendo que se mueven a lo largo de trayectorias circulares;) a la vez realizando un movimiento de traslación respecto al “jury strut” cómo un movimiento lineal a lo largo de la dirección fija. y para las fuerzas en las otras partes del tren.

El tren de morro puede ser direccionado gracias a un sistema de hidráulico montado en el amortiguador principal el cuál por un movimiento por sistema de partículas de parte del aceite y aire aumenta la presión en uno y disminuye en otro contribuyendo al frenado de este.

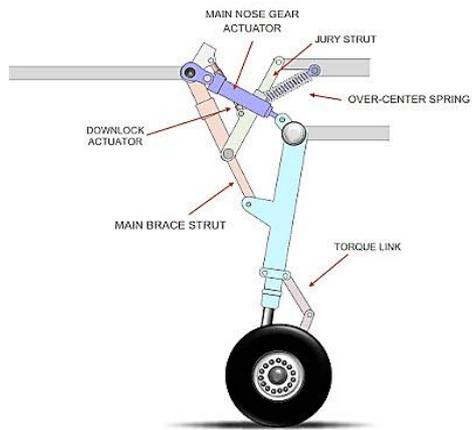


Figura N°128: Tren de aterrizaje del morro.

CAPITULO IV

6. DISCUSIÓN

En definitiva, es posible analizar de manera cinética y cinemática, los mecanismos dinámicos que integran y producen el movimiento de un avión comercial, es así que el análisis y la descripción del funcionamiento conjunto de estos sistemas, nos dan herramientas para conocer cómo se genera fundamentalmente el movimiento dinámico de un avión.

Se hizo un poco dificultoso el análisis exhaustivo y verdadero del movimiento cinemático y cinético real de los mecanismos integrados puesto que estos sistemas son muy complejos, solo se les describió y explico desde nuestro punto de vista.

Es así que se pone en tela de juicio que la mayoría de los componentes y sistemas mecánicos o partes de un avión no tendrían movimiento si no fuera por la acción del sistema hidráulico, ya que el avión al ser una máquina muy compleja es difícil ponerlo en marcha solo de manera mecánica o manual.

Describimos solo 4 fuerzas principales que actúan en el vuelo, pero no podemos asegurar que solo existan estas fuerzas ya que se pueden presentar fuerzas desconocidas o externas que influyan sobre el movimiento del avión al interactuar con el entorno. También tocamos el tema del principio de Bernoulli el cual se desprende de la ley de conservación de la energía con dos experimentos muy sencillos pudimos entender cómo es que actúan las fuerzas que están presentes en el avión antes y durante el vuelo.

Asimismo, el conducto de aire final, después de la etapa compresora en el motor de reacción tipo turbofán al pasar a la cámara de combustión, debe separarse un pequeño porcentaje por unos filamentos de esta cámara, lo cual servirá de aire refrigerante, si no ocurriera esto y todo aire comprimido pasará a hacer combustión, esta cámara se fundiría, por lo cual se requiere un diseño tubular concéntrico.

El piloto automático a bordo reduce la fatiga del piloto, reduciendo los trabajos manuales y mentales, también reduce el consumo de combustible y el tiempo de vuelo. El piloto automático se puede activar a partir de 500pies de altura de iniciado el vuelo, pero durante el despegue no es factible usar.

El tren de aterrizaje utiliza fundamentalmente en su movimiento fluidos hidráulicos, pero podría mejorar su capacidad de reacción si funcionarían con aire comprimido, sin embargo, el diseño de este tipo de sistemas no se acopla a las necesidades y diseño del avión, siendo muy difícil integrarlos.

Los amortiguadores no hidráulicos tienen un aspecto y un ajuste similares a los amortiguadores de tipo pistón, pero no contienen líquido en su interior. En lugar del pistón metálico, un pistón de goma

presiona contra el diámetro interior de la carcasa del amortiguador cuando se recibe el movimiento de sacudida a través del eje. El pistón de goma se desplaza sobre una película muy fina de grasa y la acción de rozamiento entre el pistón y la carcasa proporciona la amortiguación. Esto se conoce como amortiguación de efecto superficial. Los materiales utilizados en la construcción de este tipo de amortiguadores proporcionan una larga vida útil sin necesidad de añadir nunca líquido a la unidad.

Finalmente, el movimiento del avión seguiría una codependencia jerárquica de mayor a menor importancia discutida en el grupo este resultado en: Grupo moto propulsor, sistema hidráulico, superficies de sustentación, tren de aterrizaje y por ultimo las fuerzas que actúan en el vuelo.

7. CONCLUSIONES

- El desarrollo de la investigación sirvió para interpretar de manera crítica y eficaz, el entorno dinámico y físico de los mecanismos y sistemas de un avión comercial, asimismo obtuvimos habilidades con las cuales podremos entender cualquier movimiento de manera observable y analítica.
- Los mecanismos y principios, que hacen volar un avión comercial fueron analizados y descritos a través de conceptos dinámicos (cinética y cinemática).
- Los sistemas mecánicos, que integran el motor de reacción un avión comercial, generan el impulso necesario de acuerdo a la 2° y 3° ley de Newton, para exista movimiento del avión.
- Los alerones y el direccionador, son piezas fundamentales para mantener en equilibrio dinámico del avión durante el vuelo.
- El sistema hidráulico de un avión comercial, son interpretados gracias a los principios y conceptos de la dinámica tales como: Potencia, trabajo y los principios energéticos; asimismo es necesario su análisis por la mecánica de fluidos.
- Las conexiones en el sistema hidráulico, determinan el correcto funcionamiento dinámico de la mayoría de mecanismos.
- Desde la cabina se controla el correcto funcionamiento dinámico y mecánico, del avión comercial.
- La existencia de la fuerza de empuje generadas por los motores de reacción y la fuerza de sustentación generada por el diseño en función del principio de Bernoulli; hacen posible el vuelo y control de los aviones comerciales.
- Cuando el avión aterriza, la llanta delantera del tren de aterrizaje, tiene un movimiento general en el plano con rodadura, las llantas traseras se desplazan en forma lineal, generando fricción con el piso.

8. BIBLIOGRAFÍA

Menacho, V. (2022). *Curso virtual-dinámica*.

System y software engineering. (2013). *Como funciona un motor a reacción*.

Gaceta Aeronáutica. (2020). *Motores a reacción*.

Lesics española. (2018). *Motor a reacción ¿cómo funciona?*

Ringegni, P. (2015). *Mecanismos hidráulicos y su aplicación a las aeronaves*.

Escuela de aviación especializada (2021). *Fuerzas y momentos que actúan sobre un avión*. EDAE.

Canarias, G. (2013). *Mecánica para ingeniería*.

Hibbeler, R. (2010). *Ingeniería mecánica - Dinámica*. México: PEARSON.