

	Proyecto Fin de Carrera Grada de montaje del timón de un avión de pasajeros	Realizado por:	F. Salmerón
		Fecha:	14/07/2004
		Tutelado por:	F. Valderrama
		Fecha:	14/07/2004
		Página:	3 de 132

2. OBJETIVO DEL PROYECTO

El objetivo del proyecto no es otro que el diseño de la grada de montaje del rudder de un avión de pasajeros (Boeing 737).

Para ello, se empezará por ver detalladamente el diseño, la ubicación, la estructura y la utilidad del elemento (Rudder); para pasar posteriormente a detallar el diseño de cada parte de la grada de montaje (Figura 1).

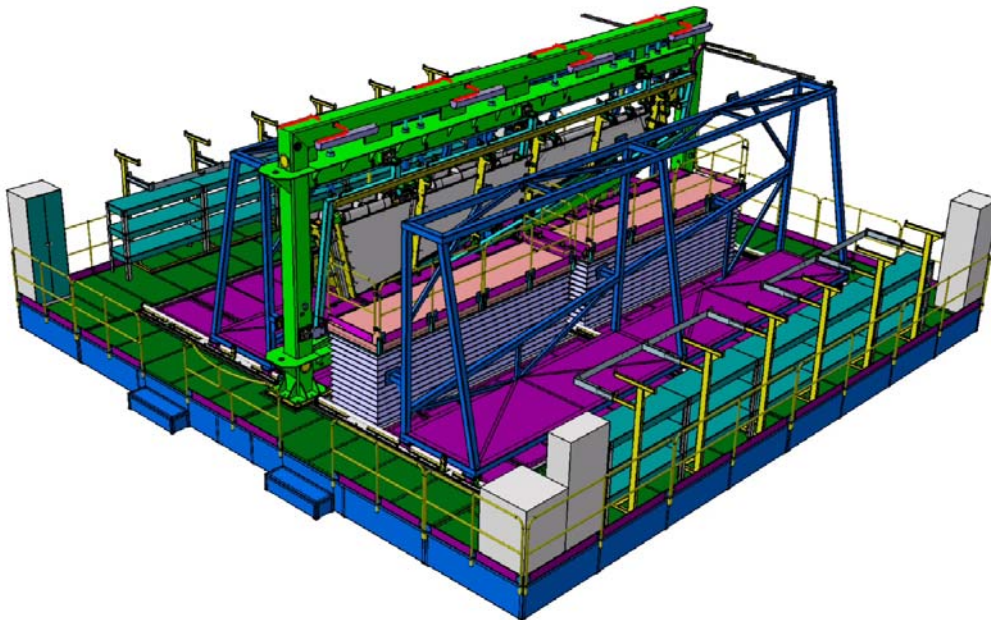


Figura 1.- Grada de montaje del timón de dirección.

	Proyecto Fin de Carrera Grada de montaje del timón de un avión de pasajeros	Realizado por:	F. Salmerón
		Fecha:	14/07/2004
		Tutelado por:	F. Valderrama
		Fecha:	14/07/2004
		Página:	4 de 132

2.1 INTRODUCCIÓN

La teoría de vuelo está basada en la aerodinámica. El término aerodinámica se deriva de la combinación de dos palabras griegas: “aero” que significa aire y “dyne” que significa fuerza. La Aerodinámica es la rama de la mecánica de fluidos que se ocupa del movimiento del aire y otros fluidos gaseosos, y de las fuerzas que actúan sobre los cuerpos que se mueven en dichos fluidos.

Durante el diseño de una aeronave hay que tener en cuenta las relaciones que existen entre el aire, la aeronave y las fuerzas que actúan sobre ésta.

	Proyecto Fin de Carrera Grada de montaje del timón de un avión de pasajeros	Realizado por:	F. Salmerón
		Fecha:	14/07/2004
		Tutelado por:	F. Valderrama
		Fecha:	14/07/2004
		Página:	5 de 132

2.1.1 Partes del avión

En primer lugar se va a realizar una descripción general de las partes de un avión, ya que así es más comprensible la lectura del proyecto. Así pues, el avión se puede dividir en partes fijas y partes móviles.

Las partes fijas constituyen la estructura básica del avión y a su vez se divide en cuatro grandes grupos:

- Fuselaje
- Alas
- Estabilizadores horizontales (h/stab)
- Estabilizador vertical (v/stab)

Las partes móviles son aquellas que permiten que el avión sea controlable y se divide en dos grupos:

- Mandos de vuelo primarios: Alerones, Timón de dirección y Timón de profundidad.
- Mandos de vuelo secundarios: Flaps, Slats, Compensadores o tabs y Spoilers

	Proyecto Fin de Carrera Grada de montaje del timón de un avión de pasajeros	Realizado por:	F. Salmerón
		Fecha:	14/07/2004
		Tutelado por:	F. Valderrama
		Fecha:	14/07/2004
		Página:	6 de 132

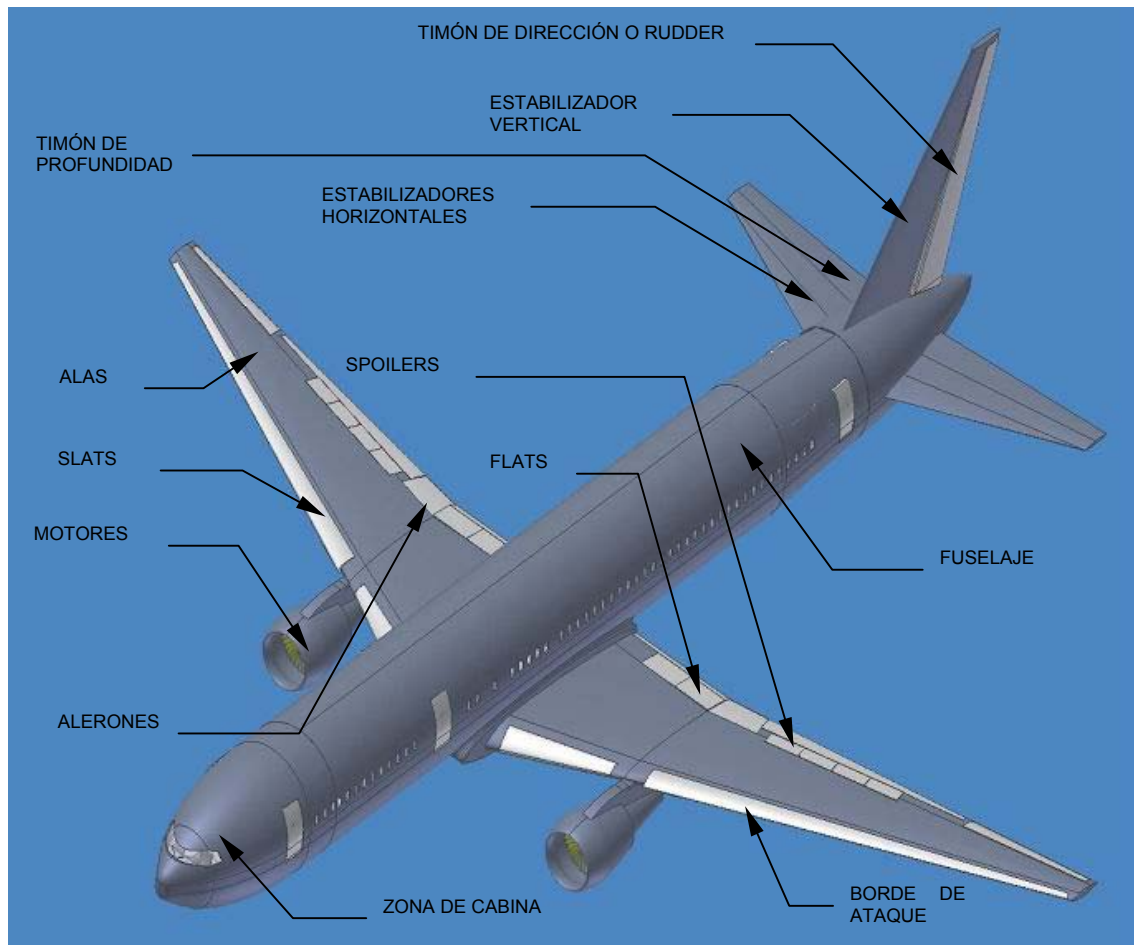


Figura 2.- Partes del Avión.

- PARTES FIJAS DEL AVIÓN.

FUSELAJE: Es la parte principal o cuerpo del avión, la de mayor volumen y por lo tanto es la principal fuente de resistencia parásita. El fuselaje es la parte donde se aprovisiona la carga, donde van los controles, accesorios y demás equipos. En un avión monomotor, el motor y sus mandos de vuelo se encuentran en la proa o morro, mientras que en un avión bimotor o con más de un motor, éstos pueden fijarse al fuselaje posterior.

La cabina de mandos está situada en la parte de proa del fuselaje y es donde van los mandos de los motores, de comunicaciones, de instrumentos y mandos de vuelo (sencillos o dobles). Los mandos de vuelo dobles

	Proyecto Fin de Carrera Grada de montaje del timón de un avión de pasajeros	Realizado por:	F. Salmerón
		Fecha:	14/07/2004
		Tutelado por:	F. Valderrama
		Fecha:	14/07/2004
		Página:	7 de 132

constan cada uno de ellos de una columna y volante para profundidad y alabeo, y pedales para el timón de dirección.

El fuselaje se construye normalmente en dos o más partes. El fuselaje aerodinámico tiene una distribución de presiones que genera un momento de cabeceo de morro alto.

El fuselaje, por lo tanto, constituye una parte desestabilizadora tanto longitudinalmente como lateralmente.

ALAS: Representan el elemento fundamental del avión para conseguir sustentación. Básicamente un ala se divide en las siguientes partes:

1. Cajón central. Que a su vez puede estar constituido por costillas (*RIB*), que pueden ser mecanizadas, es decir hechas de un bloque de material, de chapa y de celosía, que son las que están sometidas a menos tensión. El larguero anterior (*FRONT SPAR*), es una pieza alargada que va situada a todo lo largo de la parte anterior del cajón (es una pieza mecanizada). El larguero posterior (*REAR SPAR*) es una pieza alargada que va situada a todo lo largo de la parte posterior del cajón. El revestimiento (*SKINNING*), el superior o extradós (*upper skin*) y el inferior o intradós (*lower skin*), que pueden ser mecanizados o de chapa.

2. Borde de ataque. Es la parte anterior del ala y es con la que el ala combate el aire. Está formada por un revestimiento y varias costillas. Dependiendo de lo larga que sea el ala tendremos varios trozos de borde de ataque (por lo general es desmontable).

	Proyecto Fin de Carrera Grada de montaje del timón de un avión de pasajeros	Realizado por:	F. Salmerón
		Fecha:	14/07/2004
		Tutelado por:	F. Valderrama
		Fecha:	14/07/2004
		Página:	8 de 132

3. Borde de salida. Es la parte fija de la estructura del ala que une aerodinámicamente el cajón central con los flaps. Va unido al cajón central mediante costillas. Pueden ser de dos tipos: fijos o desmontables, ya que a través de ellos se debe de poder acceder a las distintas instalaciones que pasan por dicha zona.

LOS ESTABILIZADORES: Su construcción es muy similar a la usada en las alas, mediante el uso de largueros, costillas, larguerillos y revestimientos. Las cargas en los estabilizadores son soportadas y transmitidas de la misma manera que en un ala. Flexión, torsión y cortadura, creadas por las cargas aerodinámicas, pasan de un miembro estructural a otro. Cada miembro absorbe parte de la carga y transfiere el resto a los otros miembros. Al final, las cargas llegan a los largueros, que la transmiten a la estructura del fuselaje.

Estabilizador horizontal (H/STAB): El estabilizador horizontal contribuye en gran medida a la estabilidad longitudinal del avión. Generalmente se trata de una superficie aerodinámica simétrica, ya que debe tener posibilidad de generar cargas verticales.

Algunos aviones van provistos de las colas en "T". Son exactamente iguales que una cola convencional, excepto que el estabilizador está unido a la parte superior del vertical en lugar de estar unido a la parte lateral del fuselaje. Es un recurso para evitar el efecto del chorro de aire de la hélice y las sacudidas que el aire turbulento produce detrás de la onda de choque en la cola convencional.

Estabilizador vertical (V/STAB): El estabilizador vertical contribuye en gran medida a la estabilidad direccional del avión. Generalmente se trata de una

	Proyecto Fin de Carrera Grada de montaje del timón de un avión de pasajeros	Realizado por:	F. Salmerón
		Fecha:	14/07/2004
		Tutelado por:	F. Valderrama
		Fecha:	14/07/2004
		Página:	9 de 132

superficie aerodinámica simétrica, ya que debe tener posibilidad de generar cargas horizontales.

Al objeto de mejorar la estabilidad direccional sin tener que aumentar el tamaño del estabilizador vertical se suele añadir una aleta dorsal que no aumenta tanto la resistencia parásita como lo haría el hecho de agrandar el estabilizador.

- PARTES MÓVILES DEL AVIÓN

MANDOS DE VUELO PRIMARIOS:

ALERÓN: Son las superficies principales de mandos del avión. Están situadas en los extremos de las alas, en las zonas del borde de salida y controlan el movimiento de alabeo alrededor del eje longitudinal. Se accionan girando el volante en la columna de mandos de la cabina. Se mueven el de cada lado en sentido opuesto al del otro lado. Su acción se basa en que al levantar el alerón de un lado ese ala tiende a bajar por disminuir la sustentación de la misma y en el otro sucede lo contrario, con lo cual, se inicia el movimiento de alabeo.

TIMÓN DE PROFUNDIDAD: El timón de profundidad proporciona al control longitudinal o cabeceo alrededor del eje lateral o transversal. Van instalados en la parte posterior del estabilizador horizontal y están conectados a la columna de mando para su movimiento hacia arriba y abajo. Son usados para mantener el avión en vuelo nivelado a las diferentes velocidades. Cuando se mueve hacia atrás la columna de mando el timón se levanta, disminuye así la sustentación en la cola, con lo que ésta baja y el morro sube.

	Proyecto Fin de Carrera Grada de montaje del timón de un avión de pasajeros	Realizado por:	F. Salmerón
		Fecha:	14/07/2004
		Tutelado por:	F. Valderrama
		Fecha:	14/07/2004
		Página:	10 de 132

TIMÓN DE DIRECCIÓN: El timón de dirección proporciona el control direccional del avión alrededor del eje vertical. El timón se acciona como respuesta a los movimientos del piloto sobre los pedales del timón de dirección en la cabina de mando. Si se empuja el pedal izquierdo, el timón de dirección gira a la izquierda y la fuerza producida por el estabilizador vertical origina que se desplace el morro del avión a la izquierda.

Mandos de vuelo secundarios.

FLAPS: Para obtener baja velocidad de aterrizaje es necesario que la superficie del ala sea relativamente grande y sirven para incrementar la curvatura del ala en las maniobras de despegue y aterrizaje aumentando la sustentación y la resistencia con la consiguiente pérdida de velocidad. Van instalados siempre en la parte central del ala y en el borde de salida. Lo común a todos los flaps es que mediante un movimiento relativo respecto al perfil del ala consiguen incrementar la curvatura, pero también hay otros tipos de flaps donde también se aumenta la superficie. Se clasifican en cinco grandes grupos:

- F. sencillo.
- F. de intradós.
- F. Fowler.
- F. ranurados.
- F. zap.
- F. krueger.

SLATS: Son otros dispositivos que sirven para aumentar la sustentación del ala. Son unos perfiles auxiliares móviles unidos al borde de ataque del ala y los cuales, cuando están cerrados coinciden con el contorno original del mismo. Su objetivo es mejorar las condiciones de la corriente de aire a grandes ángulos de ataque.

	Proyecto Fin de Carrera Grada de montaje del timón de un avión de pasajeros	Realizado por:	F. Salmerón
		Fecha:	14/07/2004
		Tutelado por:	F. Valderrama
		Fecha:	14/07/2004
		Página:	11 de 132

COMPENSADORES: Sirven para mantener las superficies de mando de vuelo en posiciones específicamente desplazadas para compensar condiciones de inestabilidad continuada o momentánea (sobre todo por diferencia de peso o corrientes de aire).

Consisten en una aleta auxiliar colocada de forma que pueda girar en el borde de salida de una superficie de control primario y se pueden mover originando una deflexión (giro) mayor de dicha superficie. Tipos de compensadores:

Trim-tab.

Servo-tab.

Balance-tab.

Spring-tab.

SPOILERS: También llamados aerofrenos, sirven para frenar el avión en las maniobras de despegue y aterrizaje, perturbando el flujo del aire a través del extradós, incrementando la resistencia y disminuyendo la sustentación, con la consiguiente pérdida de velocidad.

Son placas fijadas a la superficie del extradós del ala. Generalmente son deflectados hacia arriba mediante actuadores hidráulicos. Se deflectan de manera simultánea en las dos alas para actuar como aerofrenos. El spoiler diferencial, suplementa a los alerones, permitiendo una disminución en el tamaño de los mismos, dejando más espacio para los flaps.

	Proyecto Fin de Carrera Grada de montaje del timón de un avión de pasajeros	Realizado por:	F. Salmerón
		Fecha:	14/07/2004
		Tutelado por:	F. Valderrama
		Fecha:	14/07/2004
		Página:	12 de 132

2.2 BOEING 737

El modelo 737 de Boeing fue concebido en febrero de 1965 como el lógico avión en la línea de jets comerciales 707 y 727. Al igual que en el 707 y a diferencia del 727, sus motores se montaron en las alas y en modelos posteriores al 200, literalmente, se colgaron de ellas. El primer modelo de 737, el 737-100, tenía una capacidad de acomodar 85 pasajeros en dos clases o 99 en clase única. El primer usuario del 737-100 fue Lufthansa que encargó 21 unidades, fue la primera vez que Boeing vendió un nuevo modelo de avión a una compañía extranjera, antes que a una local. La producción del 737 continuó luego, con un pedido de United Airlines, en el que la compañía especificó un modelo de mayor capacidad que el 100, ofreciéndole la fábrica, una nueva versión de fuselaje alargado para acomodar 124 pasajeros en clase única. Había nacido así el 737-200 modelo del cual United ordenó 40 unidades. El 737-100 voló por primera vez el 9 de abril de 1967 y el primero en ser entregado a Lufthansa lo fue el 28 de diciembre de ese año, comenzando a volar comercialmente el 10 de febrero de 1968. El último 737-100 fue entregado a Lufthansa en noviembre de 1969 y era el primero de los 737 fabricado por Boeing. Nueve unidades más de este modelo fueron fabricadas para la NASA a partir de 1973 completando Boeing una producción de 30 ejemplares.

Debido a su excelente rentabilidad, el 737-200 ganó rápidamente la confianza de las empresas aéreas que vieron en él al avión ideal para cubrir sus rutas de tráfico. Con capacidad para acomodar 95 pasajeros en dos clases o 124 en clase única y una autonomía de 4.630 kilómetros. El último modelo 200 fue entregado el 5 de abril de 1971 a Indian Airlines. En mayo de ese año fue presentado el modelo 200 Advanced, similar al 200 pero con substanciales mejoras, en una versión para 120 pasajeros de clase única y otra, el 737-200C, convertible pasajero / carga. Técnicas de desarrollo para los Boeing 757 y 767 se aplicaron como estándar en este nuevo modelo de

	Proyecto Fin de Carrera Grada de montaje del timón de un avión de pasajeros	Realizado por:	F. Salmerón
		Fecha:	14/07/2004
		Tutelado por:	F. Valderrama
		Fecha:	14/07/2004
		Página:	13 de 132

737. El primer 737-200 adv. fue entregado a Nippon Airways el 20 de mayo de 1971 y entró en servicio comercial un mes después. El último de los aviones de este modelo fue producido por Boeing en 1988 y entregado a Xiamen Airlines el 8 de agosto de ese año. El modelo 200C (combi) puede convertirse en pasajero, carga o mixto, haciendo modificaciones en su cabina, las que no consumen más de una hora. El primero de esta serie en ser entregado para su uso comercial, fue recibido el 30 de octubre de 1968 por Wien Consolidated of Alaska y el último lo recibió Markair, el 5 de julio de 1985.

El modelo 737-300 es una versión mayor del 737, con capacidad para 149 pasajeros, el 400 puede acomodar hasta 159 pasajeros en clase económica. El modelo 500 nació para remplazar a los primitivos 200, mas chicos que lo ejemplares de series posteriores pero 25 cms. mas largo que el 200, acomoda un total de 132 pasajeros en clase económica y tampoco se lo puede ver en nuestro país.

La nueva generación de Boeing 737 incluye los modelos 600, 700, 800 y 900 y su desarrollo fue autorizado por el Directorio de Boeing, el 17 de noviembre de 1993.

	Proyecto Fin de Carrera Grada de montaje del timón de un avión de pasajeros	Realizado por:	F. Salmerón
		Fecha:	14/07/2004
		Tutelado por:	F. Valderrama
		Fecha:	14/07/2004
		Página:	14 de 132

2.2.1 Algunos Datos del B-737

El modelo standard actual (1984), con un peso máx de rampa de 52615 kg y un peso máx de despegue de 52.390 kg. Motores JT8D-15A (cada uno 15.500 lbs de empuje) standard; JT8D-17A (de 16.000 lbs de empuje) opcional; anteriormente, menos eficientes motores JT8D-9A, JT8D-15, JT8D-17 y JT8D-17R también hay disponibles; capacidad básica de combustible de 19.532 lts. Capacidad para 115 pasajeros y equipaje, con asientos de 86 cm de pitch, o hasta 130 pasajeros con asientos de 76 cm de pitch. Se dispone de una opción de peso máx de rampa de 53.295 kg y un peso máx de despegue de 53.070 kg. El uso de compuesto de grafito en lugar de paneles de aluminio en los últimos aviones de producción reduce el peso de la estructura del timón, elevadores, el borde ataque inferior de la cola, spoilers y alerones en un total de unos 110 kg. El mayor uso de materiales compuestos en el interior reduce el peso en 136 kg o más, dependiendo del modelo elegido.

ALAS: Monoplano de ala baja remachada. Espesor/cuerdo promedio 12.89%. Diedro 6°. Incidencia 1° en la raíz. Flecha en el cuarto de cuerda 25°. Estructura de aleación de aluminio con 2 largueros. Alerones de compuesto de grafito. Flaps de borde salida de aluminio de tres ranuras. Flaps Krueger en el borde de ataque de las nacelas hacia adentro. Tres slats de borde de ataque de aleación de aluminio de las nacelas hacia la puntera de ala. Dos spoilers de compuesto de grafito en la parte de afuera del ala sirven para frenos de aire en vuelo y para control lateral, asociados con los alerones. Dos spoilers de tierra (ground spoilers) en cada ala, uno del lado de afuera y otra de adentro del motor, son usados durante el aterrizaje. Los alerones son actuados hidráulicamente por 2 sistemas hidráulicos con reversión manual. Los flaps de borde de salida son actuados

	Proyecto Fin de Carrera Grada de montaje del timón de un avión de pasajeros	Realizado por:	F. Salmerón
		Fecha:	14/07/2004
		Tutelado por:	F. Valderrama
		Fecha:	14/07/2004
		Página:	15 de 132

hidráulicamente, con un back up eléctrico. Los slats y flaps krueger del borde de ataque son actuados simétricamente por uno de los sistemas hidráulicos normalmente, y por el segundo en caso de falla. Aire sangrado del motor para el sistema anti hielo es provisto a todos los borde de ataque.

COLA: Aleación de aluminio remachada con estructura de múltiples largueros, con superficies de control de compuestos de grafito. Estabilizador de incidencia variable. Elevador actuado hidráulicamente por dos sistemas con reversión manual. El timón es actuado por un actuador doble desde los dos sistemas hidráulicos, con un sistema y actuador de backup o stand by. El trim del elevador tiene dos motores eléctricos, con un back up manual.

TREN DE ATERRIZAJE: tipo triciclo retractable hidráulicamente, con extensión de emergencia por gravedad. Tamaño de las ruedas principales 40 x 14-16, ruedas de nariz 24 x 7.7. Frenos Bendix o Goodrich de multidiscos. Unidades anti-skid y auto-frenado Hydro-Aire Mk III standard.

MOTORES: Dos motores Pratt & Whitney JT8D turbofan debajo del ala. Todos los modelos tienen una capacidad estándar de combustible de hasta 19.532 lts, con celdas de combustible integrales en la sección central del ala como también dos tanques integrales de ala. La versión de largo alcance tiene un tanque auxiliar en la parte de atrás del compartimiento de carga, dando una capacidad máx de 22.598 lts. Carga de combustible a través de un solo punto de presión en el borde de ataque del ala derecha, cargando unos 1.135 lts/min. Puntos de carga auxiliares por gravedad sobre el ala. Capacidad total de aceite 41,5 lts.

SISTEMAS: El sistema de presurización y aire acondicionado utiliza aire sangrado del motor. Máx diferencial 7,5 psi. Dos sistemas hidráulicos independientes, usando fluido hidráulico resistente al fuego, para controles

	Proyecto Fin de Carrera Grada de montaje del timón de un avión de pasajeros	Realizado por:	F. Salmerón
		Fecha:	14/07/2004
		Tutelado por:	F. Valderrama
		Fecha:	14/07/2004
		Página:	16 de 132

de vuelo, flaps, slats, tren de aterrizaje, steering de rueda de nariz y frenos; presión 3000 psi. No hay sistema neumático. Suministro eléctrico provisto por un generador por motor. APU Garret para suministro de aire y electricidad en vuelo y en tierra, como para arranque de motor.

Dimensiones:

Envergadura - 28.35 m

Cuerda del ala: en la raiz - 4.71 m

en la puntera - 1.60 m

Alargamiento - 8.83

Largo total - 30.53 m

Largo del fuselaje - 29.54 m

Altura total - 11.28 m

Envergadura del estabilizador - 10.97 m

Trocha de ruedas - 5.23 m

Distancia entre ejes - 11.38 m

Areas:

Alas - 102 m²

Alerones - 2.49 m²

Flaps de borde de fuga - 16.87 m²

Slats - 6.52 m²

Grnd Spoilers - 3.68 m²

Flt Spoilers - 2.64 m²

Cola - 20.81 m²

Timón - 5.22 m²

Estabilizador - 28.99 m²

Elevador - 6.55 m²

Pesos: (avión standard con un peso a la liberación de frenos de 52.390 kg)

	Proyecto Fin de Carrera Grada de montaje del timón de un avión de pasajeros	Realizado por:	F. Salmerón
		Fecha:	14/07/2004
		Tutelado por:	F. Valderrama
		Fecha:	14/07/2004
		Página:	17 de 132

Operativo Seco (DOW) JT8D-17A

200 - 27.310 kg / 60.210 lbs

200C todo pax - 28.580 kg / 63.010 lbs

200C todo carga - 26.966 kg / 59.450 lbs

Carga paga máx:

200 - 15.780 kg

200C todo pax - 14.510 kg

200C todo carga - 17.940 kg

Peso máx despegue (MTOW)

Todos - 52.390 kg / 115.500 lbs

Opcional - 53.070 kg / 117.000 lbs

o 56.472 kg / 124.500 lbs

o 58.103 kg / 128.100 lbs

Peso máx rampa (MRW)

Todos - 52.615 kg / 116.000 lbs

Opcional - 53.295 kg / 117.500 lbs

o 56.700 kg / 125.000 lbs

o 58.332 kg / 128.600 lbs

Peso máx combustible a cero (MZFW)

Todos - 43.091 kg / 95.000 lbs

Opcional 200C 44.906 kg / 99.000 lbs

Peso máx aterrizaje (MLW)

Todos - 46.720 kg / 103.000 lbs

Opcional - 47.627 kg / 105.000 lbs

o 48.534 kg / 107.000 lbs

	Proyecto Fin de Carrera Grada de montaje del timón de un avión de pasajeros	Realizado por:	F. Salmerón
		Fecha:	14/07/2004
		Tutelado por:	F. Valderrama
		Fecha:	14/07/2004
		Página:	18 de 132

Carga Alar:

Todos - 575,5 kg/m²

Opcional máx - 638,2 kg/m²

	Proyecto Fin de Carrera Grada de montaje del timón de un avión de pasajeros	Realizado por:	F. Salmerón
		Fecha:	14/07/2004
		Tutelado por:	F. Valderrama
		Fecha:	14/07/2004
		Página:	19 de 132

2.3 TIMÓN DE DIRECCIÓN – RUDDER

2.3.1 Maniobras

Debido a las cuatro dimensiones que intervienen en el movimiento de un avión; tres dimensiones (espaciales) en las que un avión se puede desplazar y otra dimensión extra (temporal). Éstos se mueven componiendo este movimiento según las necesidades. Un objeto puede trasladarse, o cambiar de posición, de un punto a otro siguiendo una dirección; y/o rotar según un eje de giro. Ahora bien, en general, el movimiento de los objetos se compone de traslación y rotación.

El movimiento de un avión, es particularmente complejo, debido a que los movimientos de translación y de rotación vienen unidos por parejas; ya que una rotación afecta a la magnitud y a la dirección de las fuerzas que afectan a las translaciones (como puede ser a la sustentación). Para comprender y describir el movimiento de un avión, se intentará descomponer el problema complejo en una serie de problemas más simples. Se puede, por ejemplo, asumir que el avión se traslada de un punto a otro como si toda la masa estuviese concentrada en el centro de gravedad y el movimiento de éste se modelaría mediante las leyes de Newton.

Sobre un avión existen cuatro fuerzas actuando, a saber; sustentación, resistencia al aire, empuje y peso. Dependiendo de la magnitud y dirección de estas fuerzas, el avión tomará altura, perderá altura o se inclinará. La magnitud de las fuerzas dependen de la posición de vuelo durante las translaciones y a su vez, la posición dependerá de las rotaciones alrededor del centro de gravedad cuando el avión esté equilibrado.

	Proyecto Fin de Carrera Grada de montaje del timón de un avión de pasajeros	Realizado por:	F. Salmerón
		Fecha:	14/07/2004
		Tutelado por:	F. Valderrama
		Fecha:	14/07/2004
		Página:	20 de 132

Es necesario el control de la posición u orientación de vuelo en las tres dimensiones. En vuelo, un avión puede rotar alrededor de su centro de gravedad. Se puede definir un sistema de coordenadas cuyo origen esté en el centro de gravedad y que cuyos ejes definan los ejes principales de giro del avión.

Así el eje de derrape (*yaw*) está definido por un eje perpendicular al plano formado por las alas y origen en el centro de gravedad y dirigido hacia abajo de las alas. El movimiento de derrapaje es el movimiento de la nariz del avión a un lado y a otro.

El eje de cabeceo (*pitch*) está definido por un eje perpendicular al eje de derrapaje y paralelo al plano de las alas del avión y origen en el centro de gravedad y dirigido hacia el ala derecha. El movimiento de cabeceo consiste en el movimiento de la nariz del avión de arriba abajo (o de abajo hacia arriba).

Por último, el eje de balanceo (*roll*) está definido por un eje perpendicular a los dos anteriores y origen en el centro de gravedad y dirigido hacia la nariz del avión. El movimiento de balanceo consiste en el movimiento hacia arriba o hacia debajo de un ala respecto de la otra.

En las siguientes ilustraciones se puede apreciar una representación de estos movimientos (Figura 3).

	Proyecto Fin de Carrera Grada de montaje del timón de un avión de pasajeros	Realizado por:	F. Salmerón
		Fecha:	14/07/2004
		Tutelado por:	F. Valderrama
		Fecha:	14/07/2004
		Página:	21 de 132

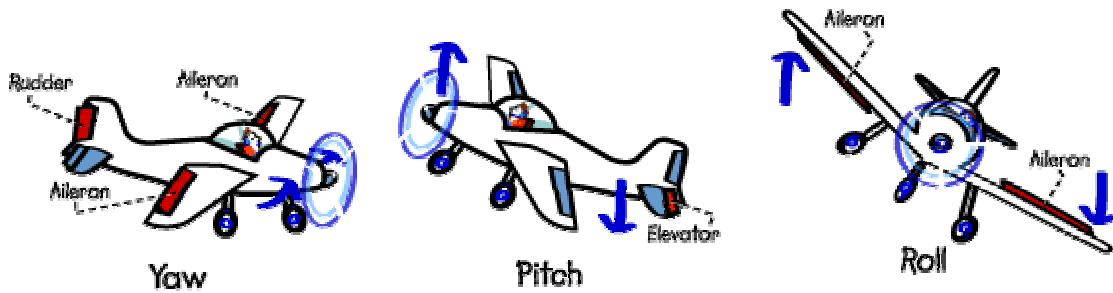


Figura 3.- Giros de una avión y superficies de mando.

En vuelo, las superficies de control de un avión producen fuerzas aerodinámicas. Éstas fuerzas son aplicadas en el centro de presiones de la superficie de control, el cuál dista del centro de gravedad y por tanto se producen momentos alrededor de los ejes principales. El timón de profundidad produce un momento de cabeceo, el rudder produce un momento de derrapaje y los alerones producen movimiento de balanceo. Se comprueba que la multitud de combinaciones que pueden darse hacen del equilibrado del avión y sus giros unas maniobras complejas.



Figura 4.- Rudder situado en un B-737.

	Proyecto Fin de Carrera Grada de montaje del timón de un avión de pasajeros	Realizado por:	F. Salmerón
		Fecha:	14/07/2004
		Tutelado por:	F. Valderrama
		Fecha:	14/07/2004
		Página:	22 de 132

2.3.2 Situación del RUDDER

El rudder está situado en el empenaje de cola; o sea, la parte trasera del avión. El modelo normal de empenaje de cola consta de dos superficies básicas, la horizontal y la vertical, pueden ser en cruz (Figura 5) o en “T” (Figura 6). Cada una tiene secciones fijas para proporcionar estabilidad y móviles para controlar mejor el vuelo. La sección fija de la superficie horizontal se llama estabilizador horizontal (como se ha visto anteriormente) y suele estar en la parte frontal, mientras que en la posterior se encuentra la parte móvil llamada timón de profundidad o elevador. Algunas veces toda la superficie se puede mover y el elevador se elimina. La parte fija de la superficie vertical es el estabilizador vertical y la móvil el timón de dirección. Hay diseños que tienen dos superficies verticales (Figura 7) e incluso tres (Figura 8) y, por tanto, dos o tres timones de dirección. Los empenajes de cola inclinados combinan las funciones de dirección y profundidad en un solo mecanismo. En algunos aviones supersónicos, la superficie horizontal se ha sustituido por dos aletas (canard) (Figura 9) situadas a cada lado cerca del morro del avión.

	Proyecto Fin de Carrera Grada de montaje del timón de un avión de pasajeros	Realizado por:	F. Salmerón
		Fecha:	14/07/2004
		Tutelado por:	F. Valderrama
		Fecha:	14/07/2004
		Página:	23 de 132



Figura 5.- Empenaje en cruz.



Figura 6.- Empenaje tipo "T".

	Proyecto Fin de Carrera Grada de montaje del timón de un avión de pasajeros	Realizado por:	F. Salmerón
		Fecha:	14/07/2004
		Tutelado por:	F. Valderrama
		Fecha:	14/07/2004
		Página:	24 de 132



Figura 7.- Empenaje con doble estabilizador vertical.



Figura 8.- Empenaje con triple estabilizador vertical.

	Proyecto Fin de Carrera Grada de montaje del timón de un avión de pasajeros	Realizado por:	F. Salmerón
		Fecha:	14/07/2004
		Tutelado por:	F. Valderrama
		Fecha:	14/07/2004
		Página:	25 de 132



Figura 9.- Estabilizadores tipo "Canard".

	Proyecto Fin de Carrera Grada de montaje del timón de un avión de pasajeros	Realizado por:	F. Salmerón
		Fecha:	14/07/2004
		Tutelado por:	F. Valderrama
		Fecha:	14/07/2004
		Página:	26 de 132

2.3.3 Composición del RUDDER

El timón de dirección (Figura 10), es una superficie de mando intercambiable, compuesta de los siguientes grupos, más representativos (Figura 11):

1. Dos revestimientos fabricados en sándwich de honeycomb + Lay up en fibra de carbono.
2. Un larguero anterior, con la misma tecnología de los revestimientos.
3. Un grupo de herrajes mecanizados y equipados, funcionales para el giro y actuadores del timón.
4. Un grupo de costillas interiores, con la misma tecnología de los revestimientos y larguero.
5. Una costilla (soporte de un contrapeso de tungsteno), fundida en material ligero, en adelante Balance Arm (Figura 12)
6. Un Tip, compuesto de piezas de varias tecnologías (chapa y Lay-up), y formado por el cierre del propio cajón entre los dos revestimientos. Este elemento también incorpora otro contrapeso de tungsteno, de menor tamaño en la zona anterior y dos carenas en zona superior e inferior (Figura 13).

	Proyecto Fin de Carrera Grada de montaje del timón de un avión de pasajeros	Realizado por:	F. Salmerón
		Fecha:	14/07/2004
		Tutelado por:	F. Valderrama
		Fecha:	14/07/2004
		Página:	27 de 132

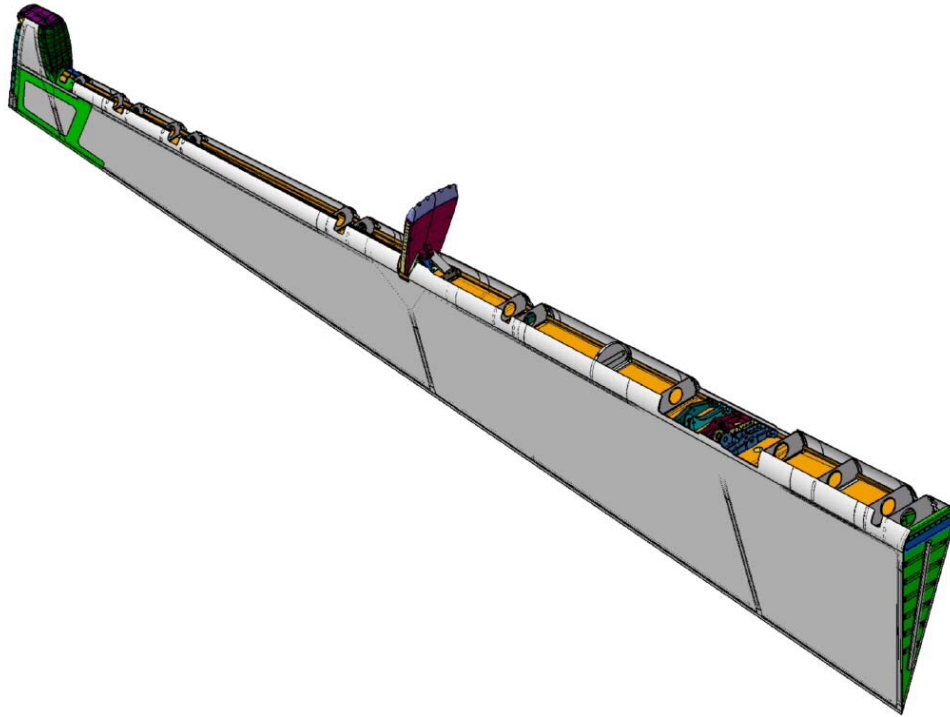


Figura 10.- Timón de dirección

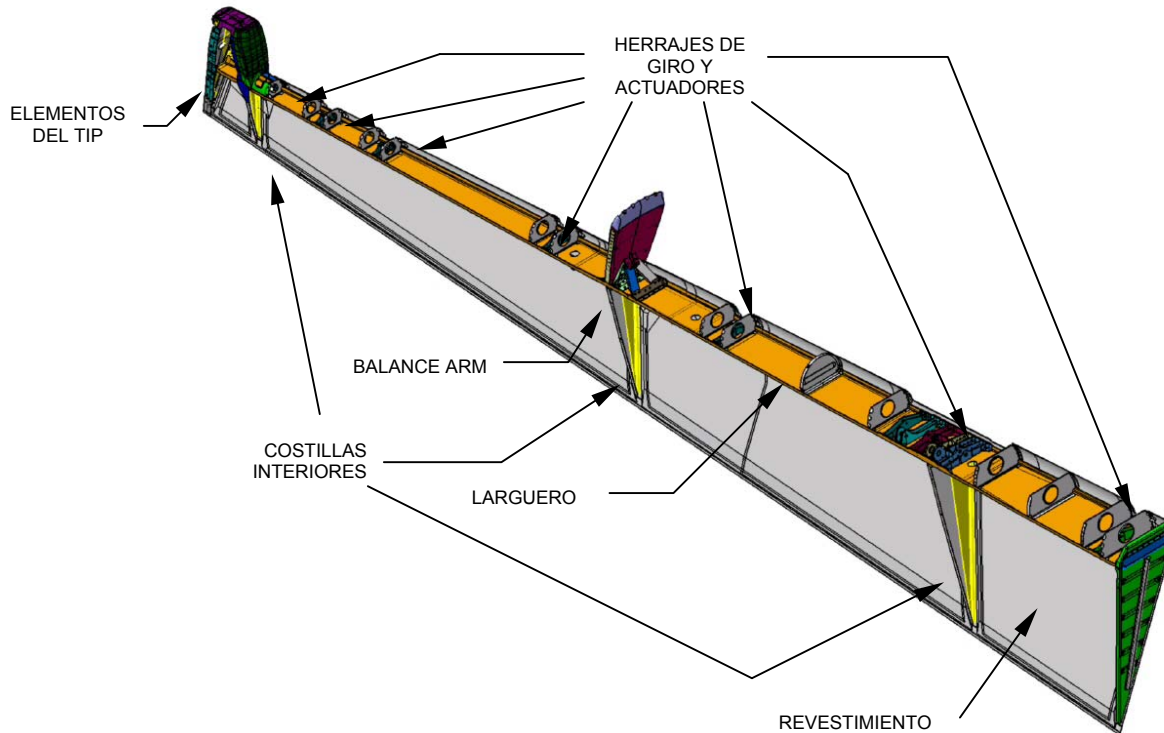


Figura 11.- Partes del timón

	Proyecto Fin de Carrera Grada de montaje del timón de un avión de pasajeros	Realizado por:	F. Salmerón
		Fecha:	14/07/2004
		Tutelado por:	F. Valderrama
		Fecha:	14/07/2004
		Página:	28 de 132

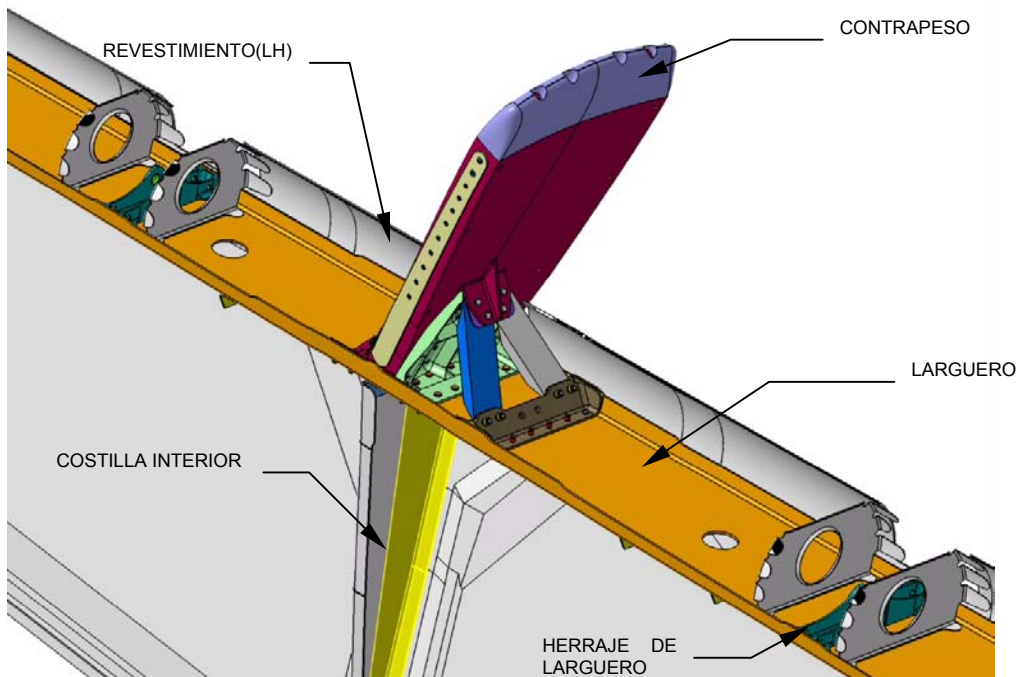


Figura 12.- Detalle del Balance Arm

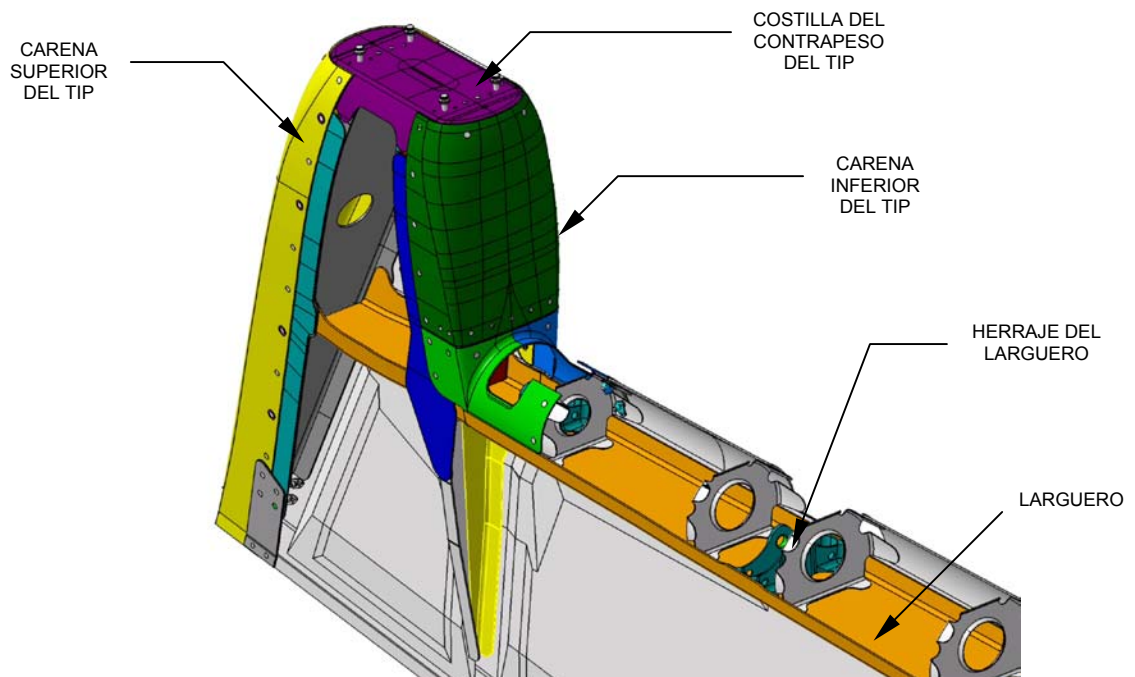


Figura 13.- Detalle del Tip

	Proyecto Fin de Carrera Grada de montaje del timón de un avión de pasajeros	Realizado por:	F. Salmerón
		Fecha:	14/07/2004
		Tutelado por:	F. Valderrama
		Fecha:	14/07/2004
		Página:	29 de 132

Se pasa a continuación a detallar cada uno de los grupos anteriormente mencionados:

1. Equipado de revestimientos: Son dos elementos, configurados como dibujados y simétrico, (aunque con diferencias en el contorno de ambos: recanteados diferentes). Como concepto de diseño, no llevan larguerillos, ni caps de unión integrados (Figura 14).

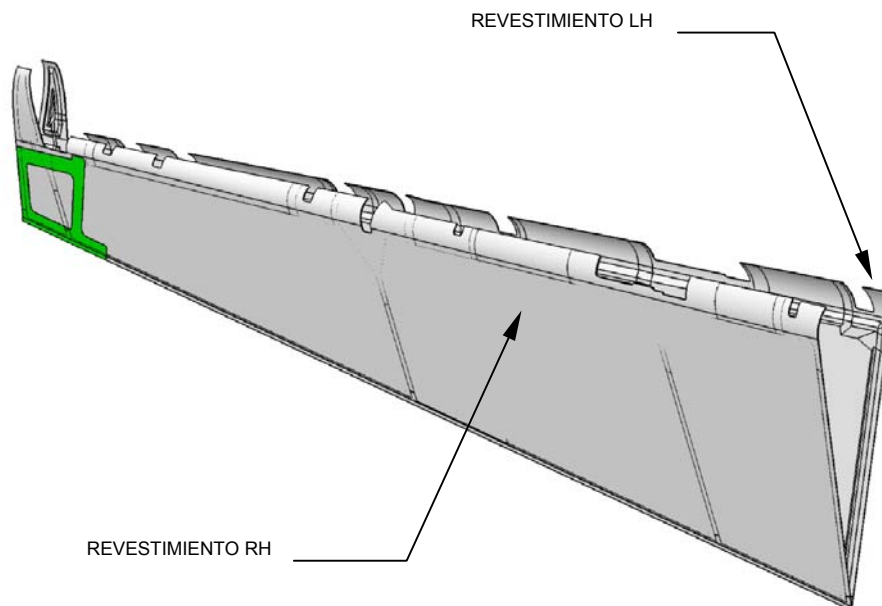


Figura 14.- Revestimientos

Los requerimientos de centraje en grada de integración recogen la existencia un T/H en el centro de cada revestimiento y adicionalmente se incluyen dos orejetas localizadas en los extremos de ambos revestimientos, las cuales serán finalmente cortadas.

	Proyecto Fin de Carrera Grada de montaje del timón de un avión de pasajeros	Realizado por:	F. Salmerón
		Fecha:	14/07/2004
		Tutelado por:	F. Valderrama
		Fecha:	14/07/2004
		Página:	30 de 132

2. Equipado de larguero: Es un elemento, configurado como único, con geometría clásica en -C-, con faldillas laterales abiertas (Figura 15 y Figura 16).

El equipado de este larguero lo componen dos tipos de elementos metálicos:

- Herrajes de giro y de actuadores. Estos herrajes constituyen nueve puntos de giro, y dos de actuadores integrados con algunos de giro. El concepto de integración define la entrega del larguero con todos estos herrajes integrados.
- Angulares. Unos con función de aportar rigidez, y otros de unión de costillas de borde de ataque y de costillas interiores (Figura 17), los angulares de unión del larguero con las costillas de cierre (superior e inferior) no vendrán montados.

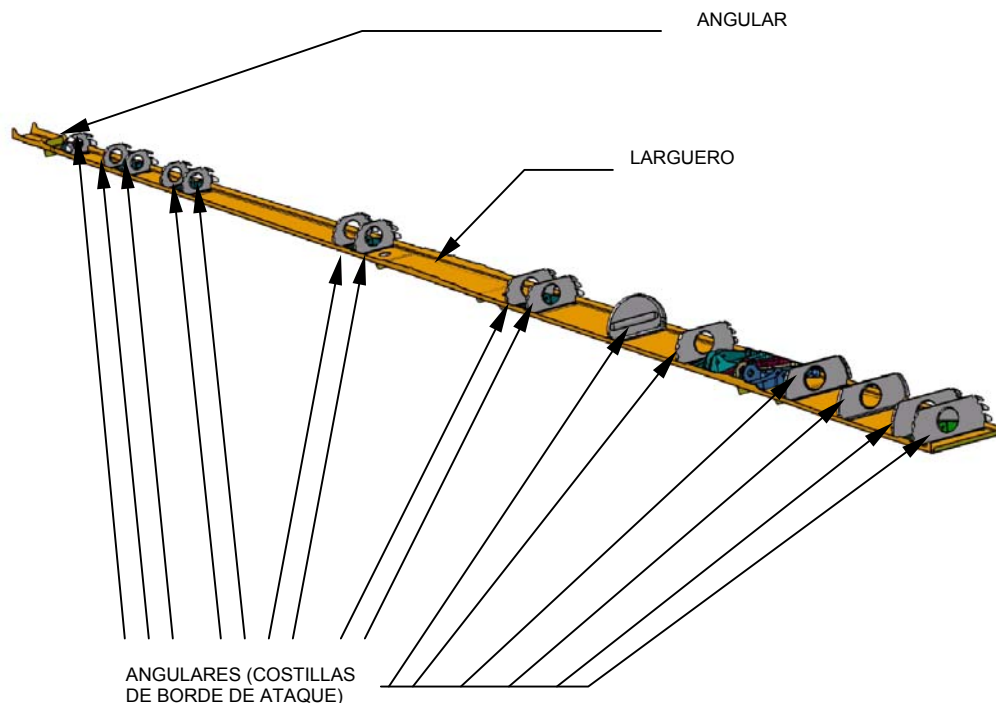


Figura 15.- Larguero equipado

	Proyecto Fin de Carrera Grada de montaje del timón de un avión de pasajeros	Realizado por:	F. Salmerón
		Fecha:	14/07/2004
		Tutelado por:	F. Valderrama
		Fecha:	14/07/2004
		Página:	31 de 132

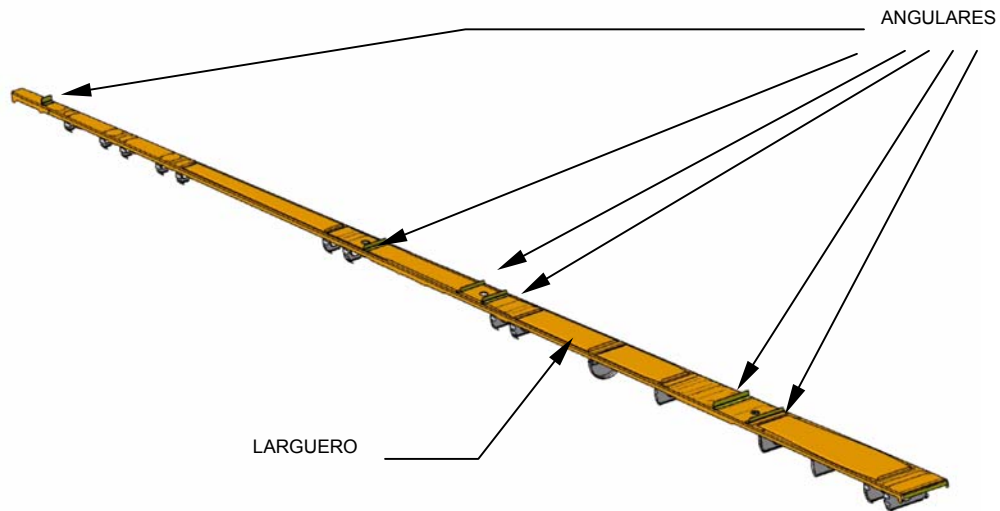


Figura 16.- Larguero equipado zona inferior

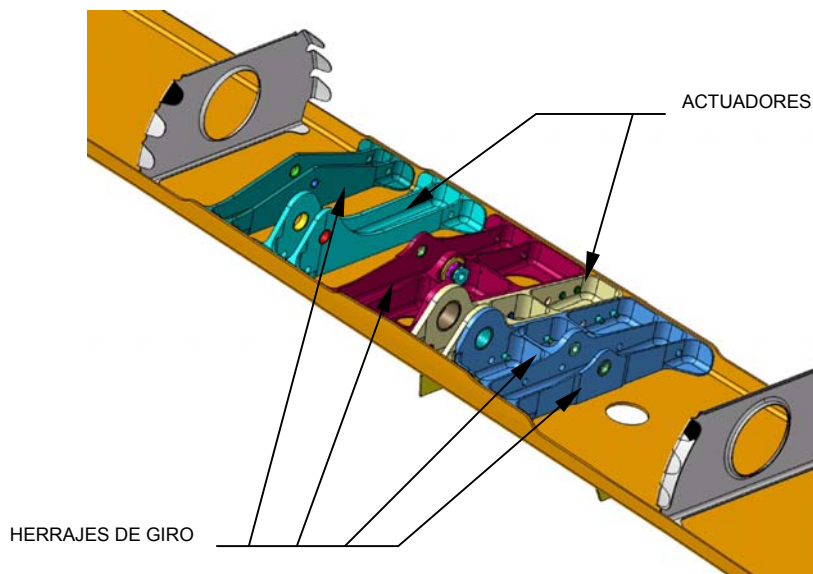


Figura 17.- Detalle herraje triple

3. Grupo de costillas interiores. Son un grupo de elementos con estructura en fibra de carbono, estas costillas forman parte de la estructura son (Figura 18):

- Costilla de cierre inferior. Esta viene totalmente equipada con la excepción del angular de unión al larguero.

	Proyecto Fin de Carrera Grada de montaje del timón de un avión de pasajeros	Realizado por:	F. Salmerón
		Fecha:	14/07/2004
		Tutelado por:	F. Valderrama
		Fecha:	14/07/2004
		Página:	32 de 132

- Costilla del grupo de actuadores. Ésta, al igual que las siguientes, vendrán con el angular de unión pero sin remachar, pero taladrado previo.
- Costilla del soporte del contrapeso.
- Grupo de costilla inferior del Tip: compuesto por la costilla inferior de interface con tip y la costilla interior del tip, estas dos costillas son independientes.
- Costilla de cierre superior.

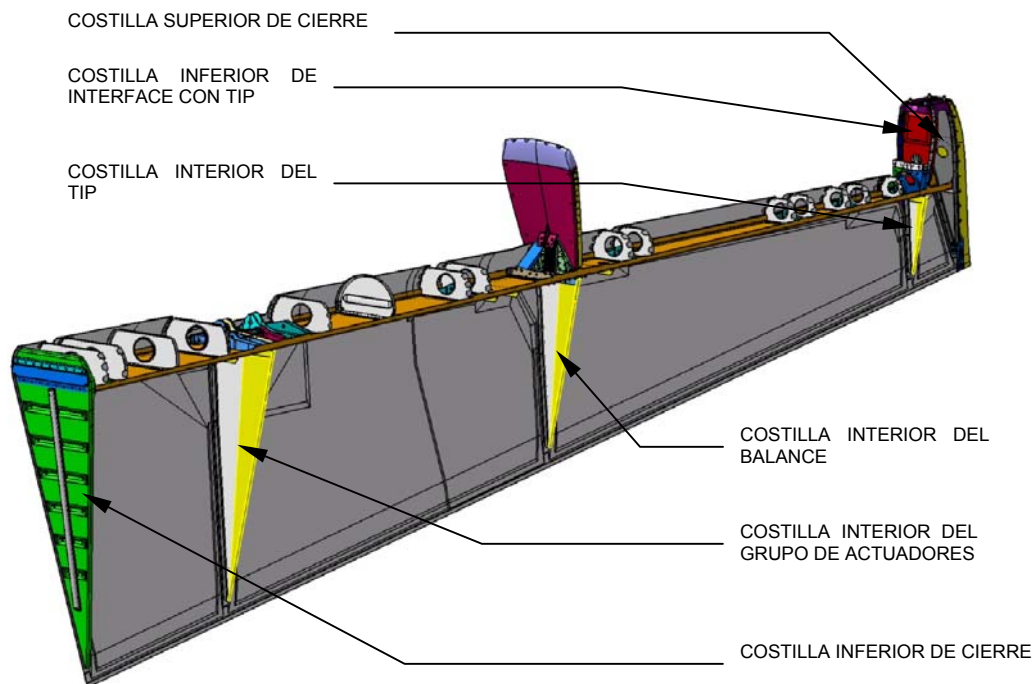


Figura 18.- Grupo de costillas

4. Grupo del Tip. Es un elemento de cierre, formado por la unión de dos revestimientos. Los componentes de este elemento se indican a continuación, todos ellos de entrega directa a la integración (Figura 19).
 - Dos carenas que delimitan en superficie, una el extremo superior del timón de dirección, cerrando el hueco entre los dos

	Proyecto Fin de Carrera Grada de montaje del timón de un avión de pasajeros	Realizado por:	F. Salmerón
		Fecha:	14/07/2004
		Tutelado por:	F. Valderrama
		Fecha:	14/07/2004
		Página:	33 de 132

revestimientos, y otra inferior, que cubre el espacio entre larguero y revestimientos

- i. Carena inferior. Se compone de dos cuerpos remachados. El cuerpo principal es de tecnología de laminado sólido, reforzado con fibra. Su entrega será totalmente terminada y con las platabandas y tuercas remachables montadas.
 - ii. Carena superior. El cuerpo principal es de tecnología de laminado sólido, reforzado con fibra, y una malla de aluminio protegida con anodizado fosfórico. Su entrega será totalmente terminada y con las platabandas y tuercas remachables montadas.
- Un contrapeso sinterizado en tungsteno. Este elemento se entregará terminado con los requerimientos de distancia entre taladros de unión garantizados.
 - Una costilla soporte del contrapeso, fabricada en press-forming de aleación de aluminio. Inicialmente con dos T/H. Otro angular completa el despiece de este elemento.

	Proyecto Fin de Carrera Grada de montaje del timón de un avión de pasajeros	Realizado por:	F. Salmerón
		Fecha:	14/07/2004
		Tutelado por:	F. Valderrama
		Fecha:	14/07/2004
		Página:	34 de 132

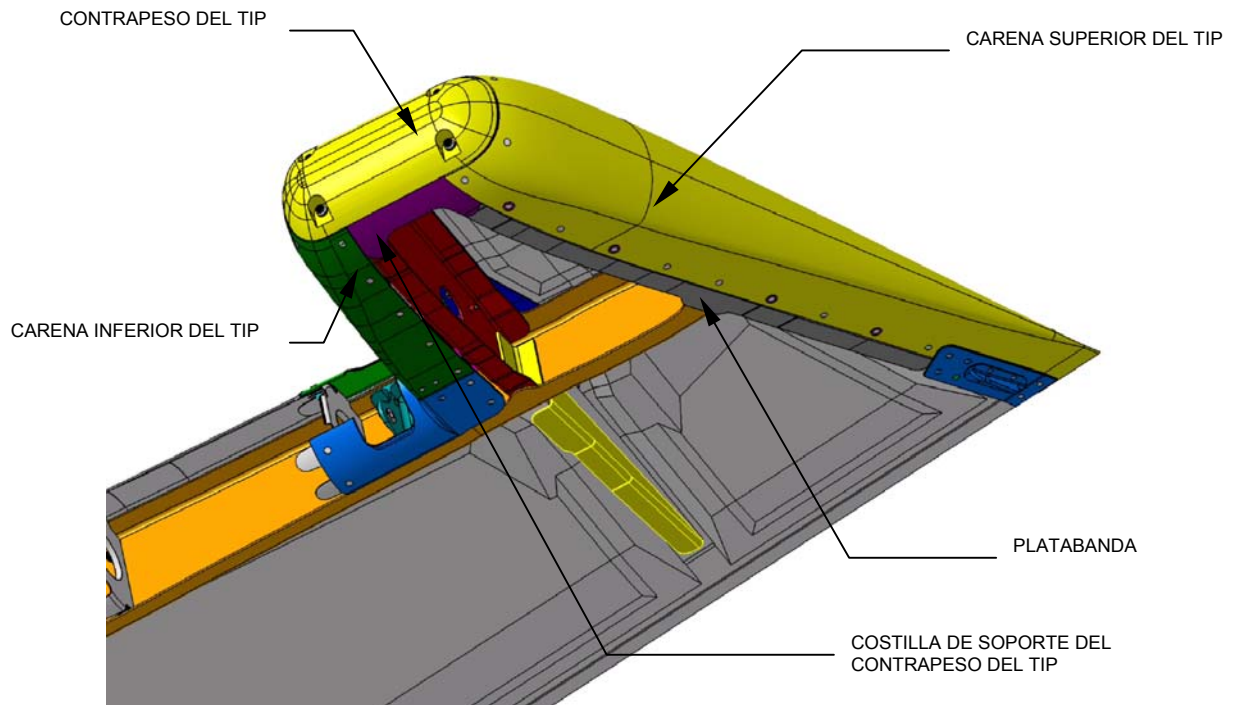


Figura 19.- Detalle grupo del Tip

5. Costilla de contrapeso forjada (Figura 20). Este elemento se compone de una estructura principal formada de un soporte de contrapeso, fundida en Aluminio, un soporte mecanizado en 5 ejes, un grupo de tapas de acceso, un contrapeso sinterizado en tungsteno, clips y una miscelánea de elementos de relleno y angulares de unión al larguero. Con la excepción del material de unión al larguero, la entrega se este elemento será totalmente equipado.

	Proyecto Fin de Carrera Grada de montaje del timón de un avión de pasajeros	Realizado por:	F. Salmerón
		Fecha:	14/07/2004
		Tutelado por:	F. Valderrama
		Fecha:	14/07/2004
		Página:	35 de 132

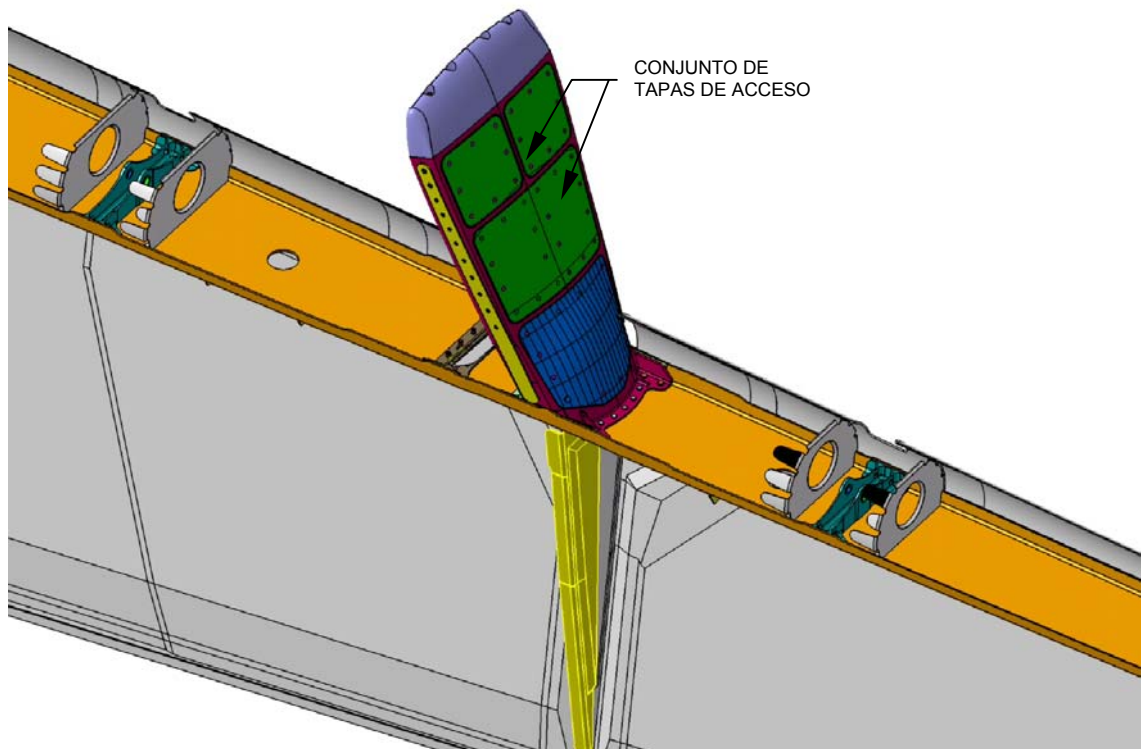
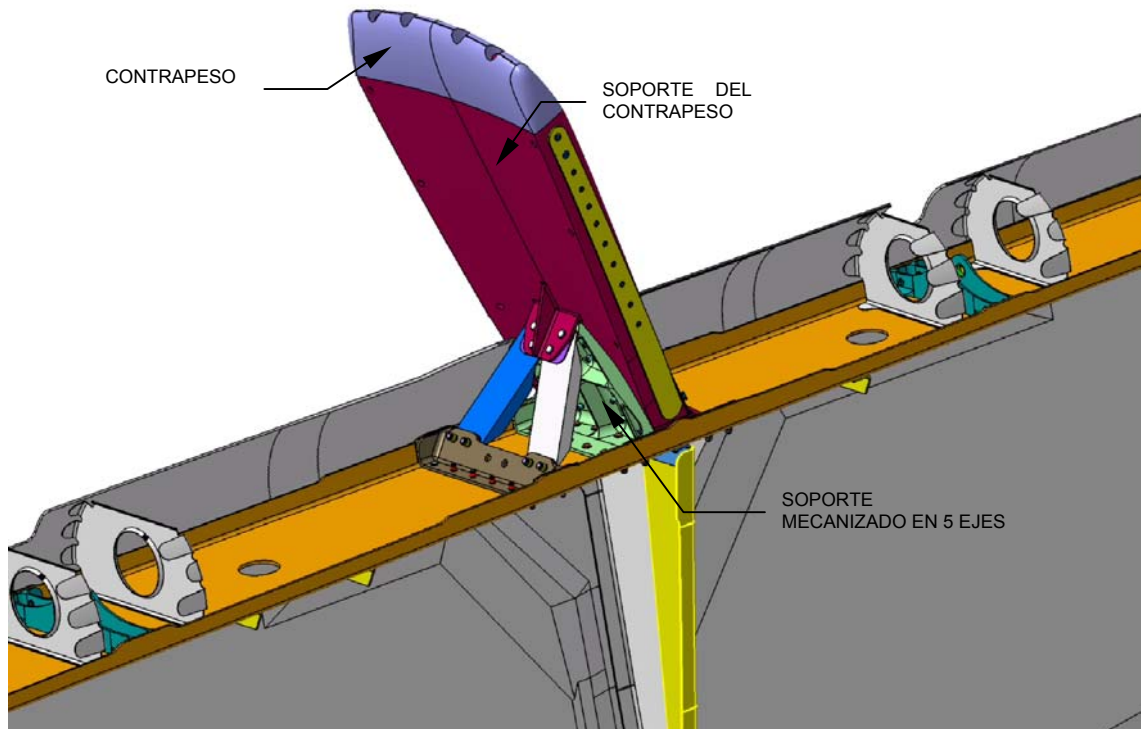


Figura 20.- Detalle del grupo del Soporte del Contrapeso