Capítulo 3

Sistemas y Componentes

Introducción

Hay muchos tipos y modelos de ultraligeros pendulares o trikes, pero todos ellos comparten las mismas características básicas de diseño. Todos ellos utilizan un ala delta, la cual está construida de una tela que recubre una estructura rígida. El carro o fuselaje consiste de la cabina de piloto y pasajero, sistema propulsor y tren de aterrizaje. [Figure 3-1]

Figura 3-1. Ala y carro de un trike.

Ala

El ala delta de un trike se compone de una estructura de tubos de aluminio recubiertos de una vela. Aunque la estructura es rígida, se diseña de forma que esta flexe y permita que la vela se deforme y se combe. Esto hace que el ala posea un simple pero eficaz control sin necesidad de poleas, varillas, bisagras, cables de control o superficies de control, como en otro tipo de aeronaves. Esto simplifica el mantenimiento y reduce el costo y el peso del ala. El ala se construye con elementos y materiales aeronáuticos de alta calidad como tubo de aleación de aluminio, cables de acero inoxidable, herrajes y tejido de dracon para la vela.

Componentes de la estructura del ala.
La estructura del ala se compone de los siguientes tubos y elementos: bordes de ataque, quilla, transversal, triangulo, mástil y cables o tirantes. Dicha estructura se compone básicamente de triangulaciones formadas por los diferentes tubos. Estos triángulos, sujetos por cables y tirantes, da lugar a una estructura muy fuerte y a la vez ligera que mantiene en posición a la vela flexible. [Figura 3-2]

Bordes de Ataque

Los bordes de ataque son los tubos situados en el frente del perfil, esto es, en el borde de ataque propiamente dicho. Los bordes de ataque de ambos semi-planos se unen en el morro del ala mediante dos placas de aleación de aluminio, definiendo el ángulo en flecha característico del ala.

Estos tubos de borde de ataque sujetan el perfil del ala y están diseñados para flexar, sobre todo en la zona más hacia el exterior del ala.

Los bordes de ataque se componen de dos tramos; la parte central y el extremo exterior, tal y como vemos en las Figuras 3-2 y 3-3. Ciertos tramos de los tubos están enmangados, esto es, están reforzados con un tubo de mayor o menor sección que el tubo principal. Esto suele se así en la parte del morro del ala, donde se unen ambos bordes de ataque mediante las dos placas de morro, y en la unión de los bordes de ataque con la transversal. Estos manguitos son usados también en otras zonas de los bordes de ataque para reforzar y aumentar su rigidez, dependiendo del diseño particular de cada ala y obtener diferentes características de flexión buscadas por el diseñador. Generalmente, la parte central del ala requiere más rigidez, mientras que los extremos de los bordes de ataque pueden flexar más, tal y como se requiere en un ala cuyas características principales están basadas en su flexibilidad. Por otra parte, el enmangado de tubos es común en todas aquellas zonas de los tubos de la aeronave donde estos están taladrados para ser atornillados, a fin de reforzarlos en dichas zonas.

Los tramos exteriores de los bordes de ataque pueden ser fácilmente desmontados a fin de plegar el ala en un paquete de longitud más corto, generalmente utilizado en caso de transporte. [Figure 3-3]

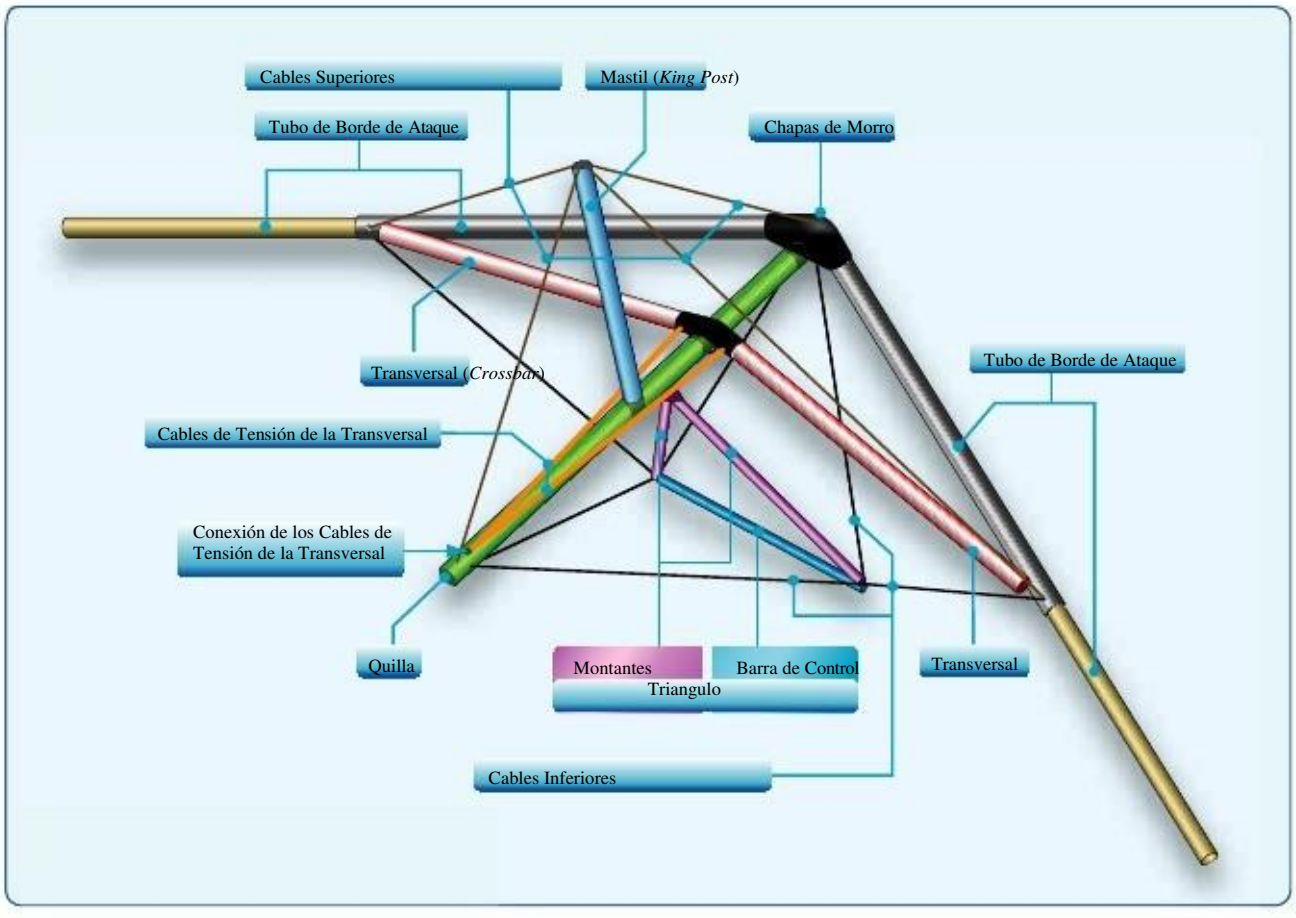

Figura 3-2. Componentes de la estructura del ala

Quilla

La quilla del ala es, como la quilla de un barco, el eje de simetría de la misma. Está conectada a los bordes de ataque mediante las placas de morro, y realiza una serie de importantes funciones. Es el elemento del ala del cual cuelga el carro y también el elemento estructural del ala que conecta la sección central de la vela en la denominada “bolsa de quilla” (se explicará su utilidad en la sección de la vela de este capítulo) . El triangulo de mando y el mástil (si se dispone de él), también están conectados a la quilla, al igual que los cables que los mantienen en su sitio. La transversal no se une rígidamente a a quilla, pero si se mantiene anclada a ella permitiendo cierto movimiento relativo, necesario para permitir el control de alabeo.

La quilla es rígida y no está diseñada para flexar ni trabajar con mucha deformación como sí lo hacen los bordes de ataque. Si está sometida a elevada carga en la zona donde el carro se cuelga del ala.

Esta zona de la quilla está normalmente enmangada, así como el extremo del morro y la zona de conexión de los cables traseros.

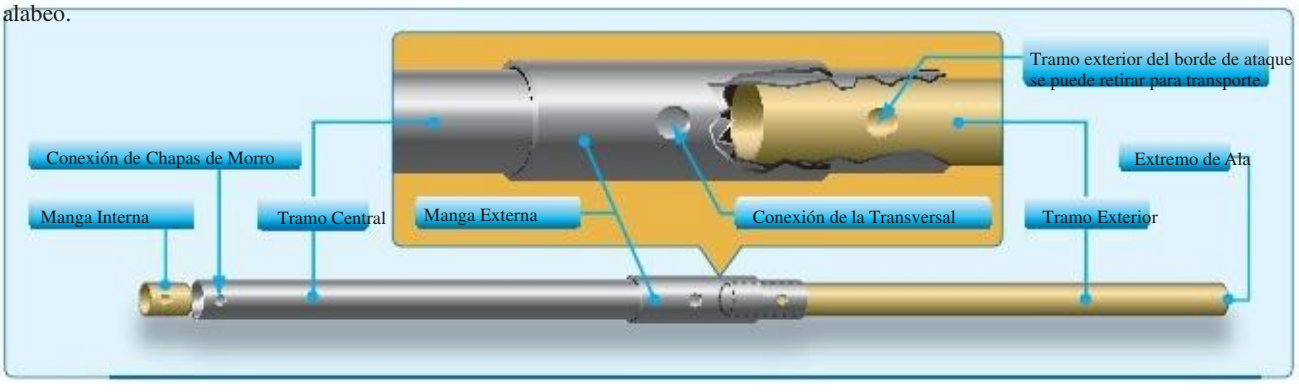

Figura 3-3. Ensamblado de Borde de Ataque.

Transversal

La transversal se compone de dos tramos de tubo articulados entre si sobre la quilla y unidos a los bordes de ataque. La transversal ejerce una fuerza sobre los bordes de ataque y se mantiene tensionada mediante los cables que tiran desde la articulación central hasta un punto en la parte trasera de la quilla. Esta fuerza de la transversal contra los bordes de ataque mantiene a la vela con la tensión necesaria para el vuelo [Figure 3-4]

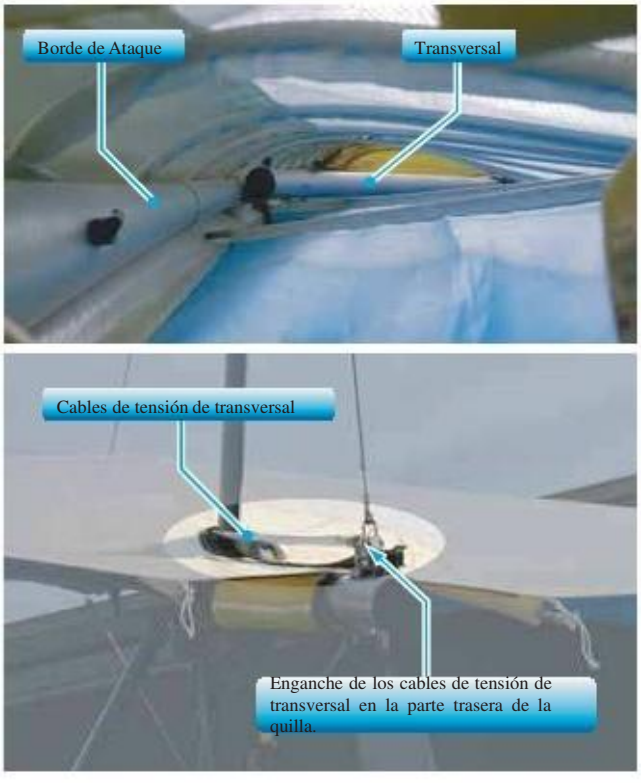

Figura 3-4. Vista del interior del plano derecho desde el extremo, mostrando la transversal tensionada y presionando sobre los bordes de ataque y a su vez sobre la vela. Notar la leve curvatura de los bordes de ataque para amoldarse a la forma de la vela.

Detalle del enganche de los cables de tensión de la transversal a la parte trasera de la quilla.

Los dos tramos de la transversal trabajan a compresión y están diseñados para ser muy rígidos y no flexar ni pandear. Se utiliza un tubo de mayor diámetro, lo cual evita su pandeo. Si este tubo se pandease en vuelo, toda la estructura del ala colapsaría. Es un elemento de fundamental importancia, ya que mantiene a los bordes de ataque en posición.

Para el desmontaje del ala, los cables de tensión de la transversal han de ser desenganchados, permitiendo esto que la articulación de la transversal se desplace hacia adelante y se cierre, pudiéndose entonces rotar los bordes de ataque sobre las chapas de morro, juntándose estos hacia la quilla y poder así plegar todo el ala formando un conjunto alargado y fino para su transporte y/o almacenaje.

El Triángulo

El triangulo sirve para dos cosas; mantiene estructuralmente firme la parte inferior del ala y además es el mando de control para el pilotaje. El triangulo va atornillado a la quilla, con dos montantes que bajan hasta unirse con la barra horizontal, el cual es la barra de control del piloto. [Figuras 3-2, 3-5, y 3-6]

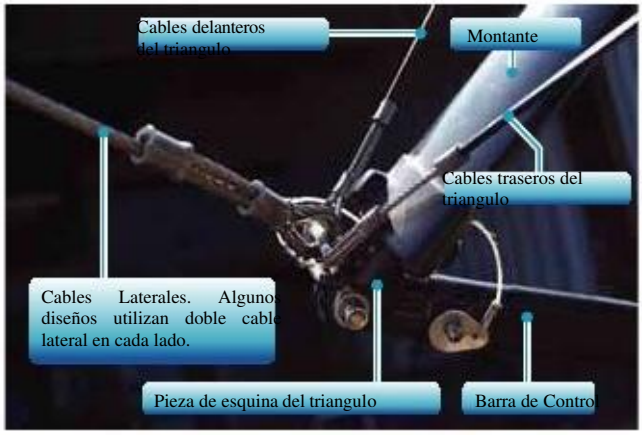

Figura 3-5. Nudo de la base de triangulo con sus conexiones

Notar el grueso cable estructural de 1/8 de pulgada que soporta el ala, frente a los finos cables delanteros y traseros de 3/32 de pulgada que mantiene el triangulo en su sitio.

Figura 3-6. Triangulo y sus conexiones

De los nudos inferiores del triangulo parten los cables (o tirantas rígidas en su caso) que conectan con el punto de unión de transversal y bordes de ataque, y también los cables que mantiene al propio triangulo en su sitio al conectar con el morro del ala y con la parte trasera de la quilla.
[Figuras 3-5 y 3-6]

Durante el vuelo, los montantes trabajan a compresión, por lo que deben de ser rígidos y rectos para evitar su pandeo. La barra de control trabaja a tracción durante el vuelo.

Los cables delanteros y traseros del triangulo mantienen a este en su sitio. Los cables laterales se tensan en vuelo, mantienen centrado el triangulo y descargan la tensión de los planos. [Figuras 3-2, 3-5, y 3-6] Las alas arriostradas mediante tirantes rígidos sustituyen los cables laterales, tal y como veremos más adelante en este capítulo.

En los trikes de escuela se añaden mancuernas a los montantes para ayudar al pilotaje desde la posición del pasajero, puesto utilizado por el instructor.[Figura 3-7]

Alas con mástil y cables en el estrados

De forma similar a como el triangulo mantiene estructuralmente en su sitio a las alas durante el vuelo, el mástil y los cables conectados a él realizan una función similar mientras el ala se encuentra en tierra o con cargas negativas durante el vuelo. [Figura 3-2] Igualmente del extremo del mástil parten los cable de reflex, cuya finalidad será explicada más tarde en este capítulo.

Alas Calvas, sin cables en el estrados y arriostradas

Al igual que muchas alas de aviones que tienen riostras, algunas alas de trike sustituyen los cables laterales por ese mismo sistema. Al trabajar las riostras a tracción y a compresión, se elimina la necesidad de los cables superiores que sujetan las alas en tierra y en cargas negativas, pudiéndose también eliminar el mástil. Este hecho reduce la altura total del conjunto del trike, por lo que se facilita el hangaraje en recintos de menor altura.[Figura 3-8]

Figura 3-8. Ala Arriostrada.

Figura 3-7. Pasajero usando las asas de pilotaje, normalmente utilizadas por el instructor en vuelos de escuela.

Algunos diseños de ala con riostras permiten que los planos se plieguen hacia atrás sin necesidad de bajar el ala del carro. Esto puede ser muy útil si disponemos de poco espacio para hangarar, al ser muy sencillo el plegar el ala sin necesidad de desconectarla del trike. [Figure 3-9] Es también muy útil en hidro-trikes, ya que así el aparato no tiene que ser sacado del agua para el plegado del ala.

Figura 3-9. Un ala arriostrada plegada, de forma que cabe en un remolque para transporte.

Las alas con riostras tienen un estrados muy limpio, sin cables ni aberturas para el mástil. Esta limpieza y la ausencia de agujeros en la vela que disminuye los flujos de aire entre estrados e intradós por diferencia de presiones, reduce las resistencias y aumenta de forma notable el rendimiento del ala. [Figura 3-10]

Componentes de la vela

La vela es un elemento de un refinado diseño que se integra con precisión con la estructura. La vela y la estructura se diseñan la una para la otra, no siendo intercambiables con velas y estructuras de otros diseños.

Figura 3-10. Estrados de un ala calva, limpia de cables y otros elementos.

Las alas modernas se diseñan con una geometría muy precisa para alcanzar una alta eficacia, por lo que las velas han de ser cosidas de forma muy detallada. Gracias a la flexibilidad de la estructura y a las precisas curvaturas del borde de ataque se consigue la necesaria estabilidad y alto rendimiento de las alas modernas. [Figura 3-11]

Figura 3-11. Diseño curvado de la vela en el borde de ataque.

Sables y Rigidizadores de Bordes de Ataque

Tal y como se vimos en el capítulo de aerodinámica, los sables son costillas semis-rígidas pre-formadas que determinan la forma del perfil en cada sección desde la raíz hasta los extremos. Adicionalmente, una lamina de espuma o de plástico (*mylar*) insertada en el borde de ataque de la vela para mantener una suave curvatura hasta el denominado punto máximo del perfil. Las alas de doble superficie y alto rendimiento poseen además sables rectos en el intradós para mantener la forma.

Material de la vela y los Paños

El material de la vela es una combinación de tejidos de polyester de diferentes tramas, espesores y orientaciones para conseguir los requerimientos exigidos a la misma. Los paños, o zonas de la vela hechos de una misma pieza de tejido, son cortados con precisión en máquinas automáticas con la forma necesaria y con la trama en las direcciones específicas para aportar la debida rigidez y flexibilidad. Estos paños son después cosidos entre sí con hilo de alta resistencia para confeccionar el conjunto de la vela.

Bolsas de sable y otros elementos metálicos.

La vela dispone de bolsas para alojar los sables, así como una variedad de otros elementos metálicos necesarios para anclar la vela a la estructura. El borde de fuga dispone a veces de un refuerzo y en algunos diseños puede ser usado para un ajuste fino de la vela para eliminar arrugas. Los sables se mantiene en tensión sujetos por cuerdas, elásticos o por otros mecanismos propios de cada fabricante.[Figura 3-12]

Figura 3-12. Borde de fuga de la vela, mostrando paños y líneas de refuerzo, así como los tensores de los sables.

Fijaciones de la vela a la estructura

La vela se fija a la estructura en el morro del ala, en los extremos del borde de ataque, y en la parte trasera de la quilla. La quilla pasa por el interior de la bolsa de quilla.
[Figura 3-13]

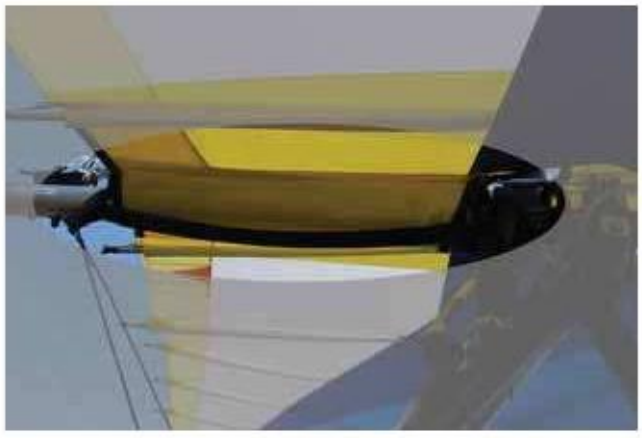

Figura 3-13. Bolsa de Quilla.

Cables

Los cables se usan en diferentes partes del ala para mantener firmes diversos componentes así como para aguantar cargas.
Son cables trenzados de acero inoxidable con terminaciones adecuadas para su anclaje a los diferentes elementos. Estas terminaciones consisten de un lazo asegurado mediante presillas tipo *niko-press.* En la Figura 3-5 vemos diferentes tipos de terminaciones de cables. Una variedad de herrajes se utilizan como elementos de unión de las terminaciones de cables y otros elementos de la estructura, siendo los diseños propios de cada fabricante. [Figuras 3-14 y 3-15]

Figura 3-14. Herraje del tensor de transversal.

Figura 3-15. Vista interior del ala mostrando el cable superior entrando a través del refuerzo de la vela y conectado a la transversal

Sistemas del ala

Sistema de Reflex

Tal y como vimos en el capítulo de aerodinámica, el borde de fuga debe permanecer alto en situaciones de bajos o negativos ángulos de ataque [Figura 2-29] para mantener un momento de profundidad positivo. Existen una serie de sistemas que consiguen esto en situaciones de emergencia.

Cables de reflex—las alas con mástil utilizan cables que mantienen el borde de fuga alto en ángulos de ataque bajos o negativos. Estos cables de reflex van sujetos a lo alto del mástil y se reparten a diferentes puntos del borde de fuga en los puntos de salida de los sables. La situación de estos puntos de anclaje sobre el borde de fuga varia según el fabricante. Estos cables de reflex, aumentan su efectividad a más altas velocidades al aumentar su resistencia y combarse más, elevando más el borde de fuga. [Figura 3-16]

Tubos de torsión (*Washout struts*)— tubos anclados a los tubos de borde de ataque cerca del extremo y que mantienen la torsión del ala correcta con ángulos de ataque bajos o negativos. Pueden estar dentro o fuera de la doble vela del ala. Normalmente los cables de reflex no llegan hasta hasta el extremo. Figura 3-17]

Tubos Anti-picado *(Sprogs)*—En alas arriostradas sin mástil ni cables de reflex, se utilizan en su lugar tirantes o tubos anti-picados que mantienen el borde de ataque alto en bajos o negativos ángulos de ataque. Un cable anclado al lado superior del borde de ataque limita cuanto puede bajar el tubo anti-picado y por tanto el borde de fuga. [Figure 3-18]

Sistema de Control de la Profundidad

El sistema de control de la profundidad consiste simplemente en una articulación sobre la quilla que permite que el carro oscile adelante y atrás cuando el piloto empuja o pica la barra de control.

Figura 3-16. Cables de Reflex.

Figura 3-17. Tubos de Torsión

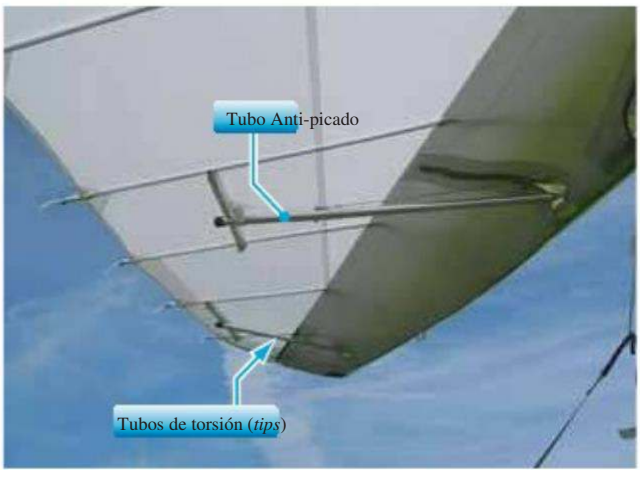

Figura 3-18. Tubos Anti-picado en alas arriostradas.

El sistema de cuelgue del carro al ala es diferente para cada fabricante. El punto de cuelgue del carro puede coincidir o no con el punto de anclaje del triangulo a la quilla, pero este último se situará siempre de forma que el triangulo forme un ángulo recto con la quilla, para que las tensiones de los cables laterales (o de las arriostras) no carguen los cables delanteros y traseros del triángulo. [Figuras 2-7 y 3-19]

Figura 3-19. Pieza de cuelgue del carro al ala.

Sistema de Control de Alabeo.

El movimiento lateral de la barra de control realiza el control de alabeo. El sistema de cuelgue del carro a el ala permite que este pueda rotar respecto al eje de la quilla. Igualmente, analizado desde el punto de vista del carro, el ala puede rotar respeto al carro lateralmente al desplazar la barra de control lado a lado. [Figuras 2-31 y 3-19]

Podría pensarse que simplemente el mover la barra de control a un lado y por lo tanto desplazar el peso a el lado contrario sería suficiente para alabear fácilmente. Ciertamente esto haría que el trike alabeara, pero no lo haría de la manera rápida y eficaz necesario en la practica para un adecuado control de alabeo.

Al desplazar el peso a un lado, la quilla se desplazará hacia ese lado acercándose más al borde de ataque. Este desplazamiento de la quilla está limitado a unos 3 o 5 cm a cada lado. Este corto desplazamiento es sin embargo suficiente para aumentar la comba de la vela, cambiar la torsión y la sustentación de ambos semi-planos (tal y como se explicó en el capítulo de aerodinámica) y permitir por tanto un adecuado alabeo. [Figura 2-24]

Además del desplazamiento de la quilla hacia el borde de ataque, las características del control de alabeo se ajustan por los diseñadores utilizando diferentes rigideces en el material de la vela, la mayor o menor torsión del ala, el perfil alar y la forma en planta del ala. [Figuras 3-20 y 3-21]

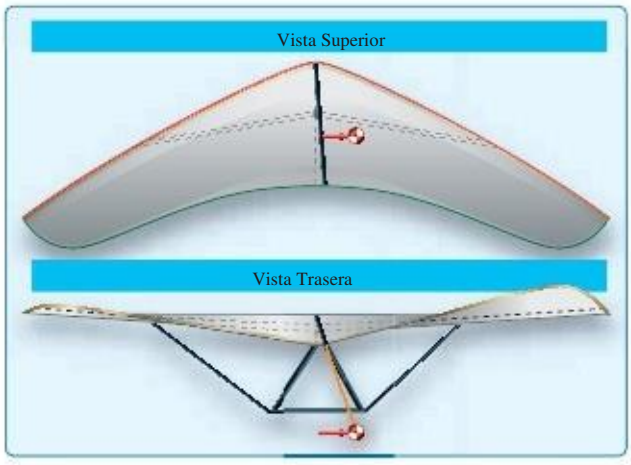

Figura 3-20. Desplazar el peso hacia la derecha hace que se desplace también la quilla hacia derecha (y también que la transversal se desplace hacia la derecha), incrementándose la torsión del ala en el plano derecho y permitiendo el alabeo hacia ese lado.

Figura 3-21. Limitador de recorrido lateral de la transversal con respecto a la quilla.

Sistemas de ajuste fino de la velocidad (*Trim*)
Existen varios sistemas de ajuste de la velocidad neutra, o velocidad sin presión en la barra. Esto se denomina también utilizando el anglicismo *trimado*. Todos estos sistemas consisten en poder anular el esfuerzo sobre los mandos para una deseada velocidad. Existen sistemas de *trim* de velocidad en tierra y otros que permiten realizar esta operación durante el vuelo.

Sistemas de ajuste de velocidad en tierra.

El sistema más sencillo consiste en variar el punto de cuelgue del carro al ala adelante o detrás. Adelantando el cuelgue, tendremos una velocidad a manos sueltas más rápida y más lenta si lo atrasamos. Cada fabricante utiliza diferentes herrajes, pero la base de diseño es la misma: desplazar sobre el tubo de quilla la pieza normalmente de nailon reforzada con chapones de acero que sirve de anclaje del carro al ala. El rango de velocidad ajustable puede ser de hasta 35 km/h de la posición mas adelantada a la posición más atrasada. Este cambio de posición del punto de cuelgue alterará también la posición de barra “de manos sueltas”.

Otro método menos comúnmente empleado para aumentar la velocidad de trim es incrementar la tensión en la barra cruzada tirando hacia atrás de ella más allá, aumentando así ligeramente el ángulo del morro mientras se reduce la torsión. Esto incrementa el ángulo de ataque de las puntas, produciendo más sustentación y bajando el morro lo cual resulta en una mayor velocidad de trim. Éste es un ajuste típico realizado durante el vuelo para alas delta de alto rendimiento. Con esta ala más rápida y rígida se reduce el control de alabeo.

Los sistemas de trim ajustables en tierra se describen para cada aeronave en su correspondiente libro de mano de operación (POH en sus siglas en inglés). Diferentes cargas requerirán distintos ajustes de cabeceo.

Sistemas de trim ajustables en vuelo

Que sea posible ajustar los sistemas de trim en vuelo tiene un gran número de ventajas discutidas más adelante en la sección de vuelo. Hay un gran número de sistemas de ajuste en vuelo puestos a disposición del piloto por los distintos fabricantes. Un sistema común de ajuste de trim en vuelo es subir y bajar el borde de salida. Levantar el borde de salida incrementa el réflex de la superficie sustentadora y ralentiza el ala. Bajar el borde de salida decrece el réflex de la superficie sustentadora y aumenta la velocidad del ala. Normalmente, una manivela presente en el tubo de bajada controla un cable, el cual iza el tubo de bajada hacia la parte superior del ala. Como resultado de mover la manivela, el cable del borde de salida se levanta y baja, cambiando la velocidad de trim. [Figura 3-22]

Figura 3-22. Una manivela en el tubo de bajada de la barra de control ajusta el réflex del borde de salida durante el vuelo.

Los sistemas hidráulicos o eléctricos pueden trasladar el punto de cuelgue del ala por otros sistemas de trim en vuelo [Figura 3-23]

Figura 3-23. Los sistemas hidráulicos de trim en vuelo que mueven el punto de cuelgue en vuelo controlados por el piloto.

Otro sistema de trim en vuelo operado por el piloto, es un sistema de elástico en el cual el piloto incrementa la tensión en el sistema de elástico, lo cual levanta el morro para un vuelo de subida y lento. [Figura 3-24]

Figura 3-24. Aportando mayor tensión al elástico tirando hacia abajo de la parte posterior de la quilla del ala reduciendo la velocidad de trim, lo cual el piloto controla durante el vuelo.

Carro

El carro o trike en inglés, es una estructura completamente independiente del ala. Sin el ala, el carro puede ser conducido si es necesario. Gran parte del peso y el precio de una aeronave pendular proviene del carro. Existe una amplia gama de diseños de carros, desde el más simple y básico carro abierto al más sofisticado y complejo carro que incorpora un carenado y ofrece un gran número de ajustes para el piloto y el pasajero, obteniendo así un mayor confort y sufriendo una menor fatiga durante el vuelo. Generalmente una mayor complejidad del carro implica mayor coste, peso y requerirá una mayor potencia para una misma ala. [Figura 5-25]

Figura 3-25. Trike simple y básico (izquierda) y trike sofisticado con ajustes para el piloto y el pasajero (derecha).

Estructura

Igual que el ala, el carro se diseña con un gran número de triángulos estructurales para obtener una resistencia óptima con un mínimo peso. Cada manufactura y modelo posee características específicas que varían, pero la estructura del carro se compone normalmente de mástil, quilla y triángulo frontal, lo cual compone los elementos del triangulo principal de la estructura del carro con el anclaje del ala en la parte superior del mástil.

El marco del asiento se fija al mástil y a la quilla proveyendo de rigidez a los componentes principales mientras aporta una estructura para el piloto y el pasajero. [Figura 3-26]

El anclaje de la riostra de aterrizaje a la parte posterior de las ruedas aporta una estructura para el tren de aterrizaje principal y la horquilla frontal provee la estructura necesaria para la rueda frontal del tren de aterrizaje. La base para el motor se encuentra anclada al mástil, dando la oportuna fijación y estructura para el sistema de propulsión. [Figura 3-26]

Tren de aterrizaje

El tren de aterrizaje provee soporte a la aeronave pendular cuando está en tierra y absorbe los golpes para reducir el estrés del piloto durante los aterrizajes.

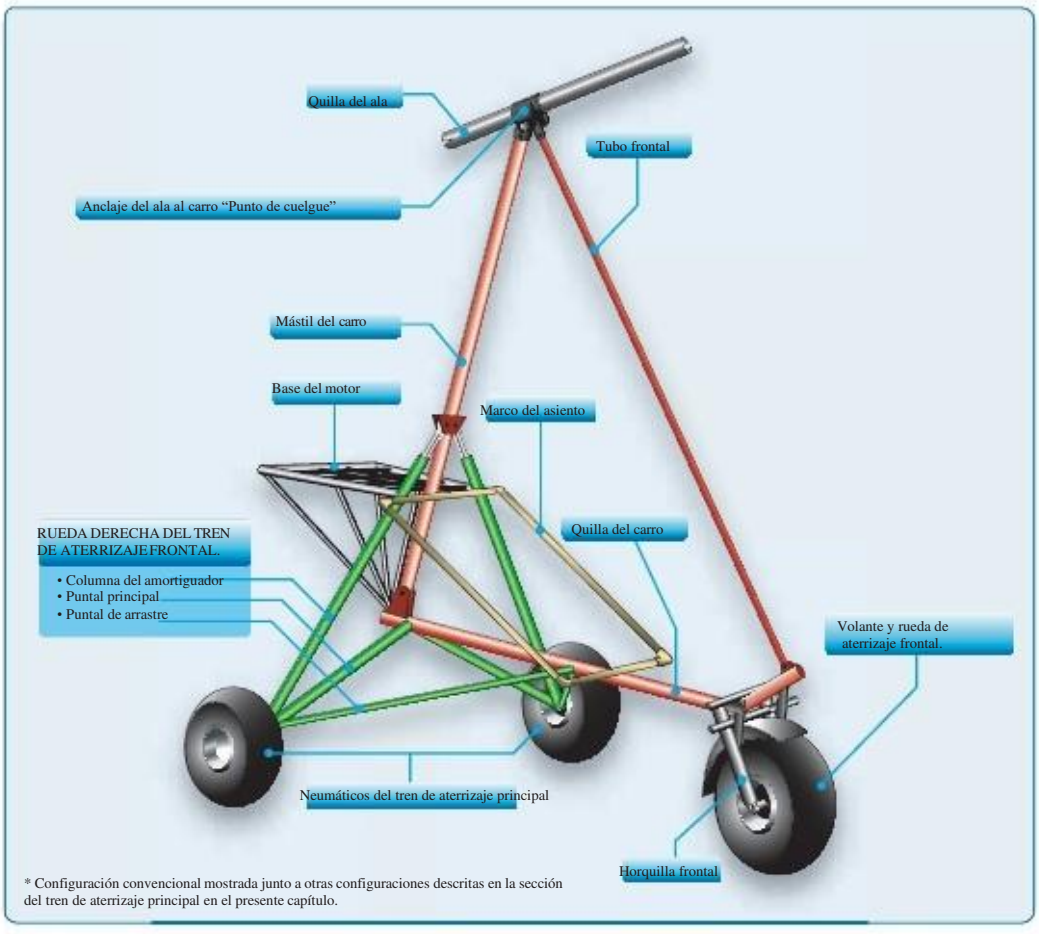

Figura 3-26. Componentes básicos de la estructura del carro.

El tren de aterrizaje se compone de la rueda de morro, la cual soporta una carga ligera y se emplea para dirigir la aeronave y el tren de aterrizaje principal o trasero el cual soporta la mayor parte del peso de la aeronave. [Figura 3-26] La horquilla de dirección de la rueda de morro incorpora estribos (Soportes para los pies) los cuales se utilizan para dirigir la aeronave en tierra. Además de para dirigir la aeronave en tierra, los estribos funcionan igual que los pedales de un coche, activando el estribo izquierdo el freno de tierra y el estribo derecho la potencia tanto en tierra como en vuelo. [Figura 3-27] La horquilla frontal normalmente es combada de tal manera que rueda de manera natural hacia la dirección en la que se orienta igual que en una horquilla de motocicleta.

Figura 3-27. Estribos utilizados para dirigir la aeronave en tierra (Mostrando la imagen la parte izquierda del freno de tierra).

Para el aprendizaje, se puede instalar en la aeronave un segundo sistema de dirección conectado por una biela al primero de tal manera que el instructor sentándose detrás pueda dirigir la horquilla delantera conduciendo la aeronave en tierra. [Figura 3-28] Los amortiguadores de dirección se utilizan a veces para estabilizar la rueda frontal evitando las oscilaciones a altas velocidades durante el despegue y aterrizaje. [Figura 3-29] El mismo neumático de la rueda puede actuar como un amortiguador o a veces la rueda incorpora amortiguadores.

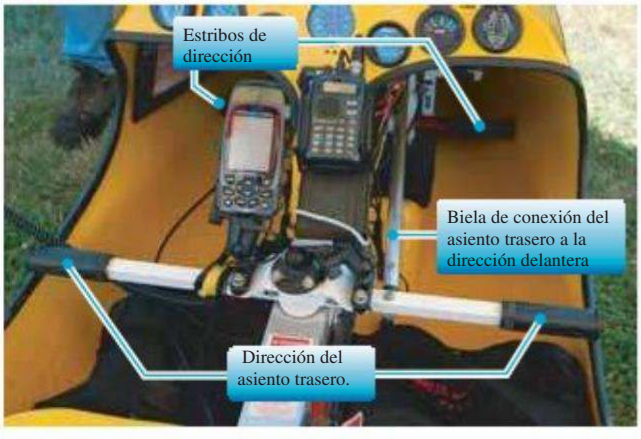

Figura 3-28. Control de dirección del instructor en el asiento trasero conectado mediante biela a la horquilla frontal.

Figura 3-29. Amortiguador de la barra de dirección.

La rueda frontal normalmente incorpora un freno de disco o de tambor, que puede ser mecánico o hidráulico. [Figuras 3-30 y 3-31] El freno frontal es más ligero y sencillo que los frenos traseros, pero algunos algunos carros utilizan estos últimos.

Figura 3-30. Sistema de freno de tambor mecánico.

El freno de estacionamiento es extremadamente útil para asegurar la aeronave en tierra sin necesidad de utilizar calzos para frenar la aeronave antes del despegue y después del aterrizaje. Los distintos fabricantes emplean una gran variedad de sistemas de freno de estacionamiento. [Figura 3-32]

El tren de aterrizaje principal lo forman las dos ruedas traseras de la aeronave. Debido a que el centro de gravedad (CG) se encuentra más cerca de las ruedas traseras, la mayor parte del peso de la aeronave es soportado por éstas durante la rodadura, despegue y aterrizaje.

Existe un gran número de configuraciones distintas para las ruedas principales. La configuración convencional se compone de dos sistemas independientes para cada rueda trasera. Cada lado se compone de dos triángulos estructurales, uno horizontal y otro vertical.

Figura 3-31. Sistema hidráulico de freno de disco.

Figura 3-32. Sistema mecánico de freno de estacionamiento.

El triángulo horizontal está formado por el puntal de arrastre que va desde la rueda hacia delante hasta la quilla o a la estructura delantera que mantiene la rueda en su posición hacia delante y hacia atrás, y el montante del tren de aterrizaje principal. Ambos montantes, el principal y el de arrastre pivotan sobre el anclaje a la quilla como parte del sistema de amortiguación.

El triángulo vertical está formado por el montante del tren principal y el amortiguador, ambos anclados a la rueda y hacia delante a la estructura de la quilla [Figura 3-36] o a otra estructura como la base del motor mostrado en la figura 3-33, lo cual lleva el nitrógeno comprimido y el amortiguador de aceite.

Existen un gran número de otras configuraciones tanto de tren de aterrizaje principal como de sistemas de amortiguación, como por ejemplo el de refuerzos de alambre con choques de cuerda elástica [Figura 3-34], fibra de vidrio o flexible (Fibra de vidrio o acero), tren de aterrizaje sin puntales [Figura 3-35] y cualquier variación de éstos. Carros diseñados para velocidades altas deberían incorporar trenes de aterrizaje aerodinámicos. [Figuras 3-36 y 3-37].

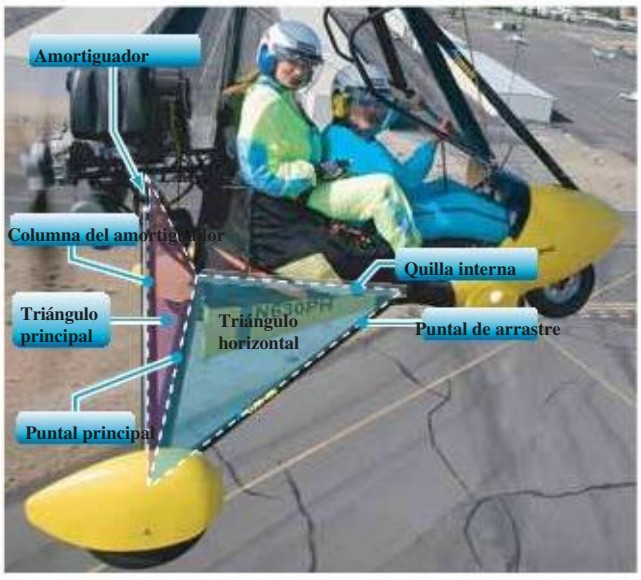

Figura 3-33. Configuración convencional de tren de aterrizaje.

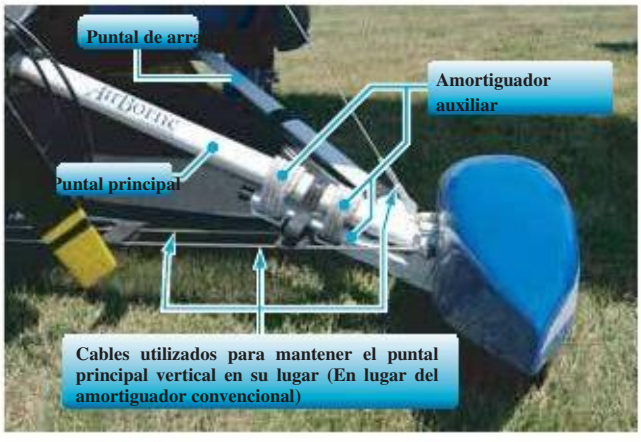

Figura 3-34. Sustituto del sistema vertical utilizando cables aerodinámicos y cuerdas elásticas.

Figura 3-35. Tren de aterrizaje macizo flexible.

Figura 3-36. Tren de aterrizaje convencional con puntales principal y de arrastre aerodinámicos.

Figura 3-37. Tren de aterrizaje principal macizo flexible con carenado aerodinámico.

Como se explicó ya en la sección sobre la rueda de morro, el carro puede tener instalados los frenos en el tren de aterrizaje principal en ambas ruedas, los cuales pueden ser de tambor o de disco, y pueden ser controlados mediante actuaciones hidráulicas o mecánicas. Cada fabricante ofrece sus propios diseños y opciones.

Los neumáticos pueden también ayudar en la amortiguación en los aterrizajes. Los neumáticos grandes de tundra añaden una capacidad significativa de amortiguación y se emplean en campos blandos, campos accidentados y arena. [Figura 3-38] Generalmente, las aeronaves pendulares rápidas utilizadas para operar en aeródromos utilizan neumáticos estrechos para reducir la resistencia.

Tren de aterrizaje para agua y nieve

No sólo existen trenes de aterrizaje para operar en tierra, si no que existen sistemas de tren de aterrizaje para agua (Aeronaves de mar) y para nieve (Equipados con esquíes).

Figura 3-38. Aeronave con neumáticos grandes de tundra para operar en campos blandos o accidentados.

Si incorpora esquíes, los mismos se suelen instalar en la zona inferior de las ruedas o las sustituyen completamente. Si está equipado para el mar, un sistema completo provee flotación a la aeronave y dirección gracias a unos timones similares a los de un barco. El timón de agua se controla con los pies , igual que una aeronave en tierra. Hay dos clases de sistemas para el agua, el bote volador y los pontones.

El bote volador es un bote sólido o inflable que se fija a la aeronave pendular asegurándose al fuselaje lo mejor posible. [Figura 3-39] Este sistema generalmente se emplea para mares embravecidos en el océano y dada la resistencia adicional que produce el bote, normalmente se utiliza un ala mayor y por lo tanto la aeronave resulta ser más lenta. El diseño de bote es conocido por ser más estable en aguas turbulentas y porque reduce la entrada de agua por las salpicaduras de tal manera que el piloto y el copiloto permanecen secos.

Figura 3-39. Bote volador.

El sistema de pontón se emplea para aguas en calma, produce menos resistencia en vuelo y por lo tanto permite utilizar alas más pequeñas y rápidas. [Figura 3-40] Tanto el sistema de bote volador como el de pontón requieren de mayor potencia que las aeronaves de tierra por dos razones: primero, para proporcionar suficiente empuje para acelerar a la velocidad de despegue con la resistencia extra que produce el bote o del pontón al desplazarse sobre el agua, y segundo, para proporcionar suficiente empuje adicional para vencer la resistencia extra del bote o los pontones en el aire durante el vuelo.

Figura 3-40. Sistema de pontones.

Sistemas eléctricos

Las aeronaves pendulares normalmente están equipados con sistemas de corriente continua (DC) de 12 Voltios. El sistema eléctrico básico de una aeronave pendular lo forman las magnetos/generadores, el regulador de voltaje, una batería, el interruptor de batería/máster y su cableado eléctrico asociado. La energía eléctrica almacenada en la batería provee una fuente de energía eléctrica para la puesta en marcha del motor y otras cargas eléctricas que la aeronave pendular requiera.

El sistema eléctrico normalmente se enciende y apaga mediante el interruptor de máster. Accionar el máster a su posición de encendido provee energía de la batería para todos los circuitos del equipo eléctrico con la excepción del sistema de encendido. El equipo que comúnmente emplea la energía del sistema eléctrico incluye:

- Luces de posición.
- Luz anti-colisión.
- Luces de la instrumentación.
- Equipo de radio.
- Equipo de navegación.
- Instrumentación electrónica.
- Bomba eléctrica de combustible.
- Puesta en marcha del motor.
- Sistema eléctrico de calefacción (Guantes, calcetines, pantalones, chaleco, chaqueta, etc...).

Los fusibles y disyuntores (*circuit breakers* es el término inglés normalmente empleado) se utilizan en el sistema eléctrico para proteger los circuitos y el equipamiento de sobrecargas eléctricas.

Deberían llevarse a bordo de la aeronave fusibles de reserva del amperaje apropiado para poder reemplazar los defectuosos y los fundidos. Los disyuntores o interruptores automáticos (*circuit breakers*) tienen la misma función que los fusibles pero pueden ser re-establecidos manualmente, lo cual resulta más rápido que reemplazarlos si ocurre una situación de sobrecarga en el sistema eléctrico. Las etiquetas en los fusibles o en el panel de los disyuntores identifica el circuito por el nombre y muestra el límite de amperaje.

Se debe utilizar el amperímetro para monitorizar el rendimiento del sistema eléctrico. El amperímetro muestra si la magneto/generador produce un adecuado suministro de potencia eléctrica. También indica si la batería está recibiendo o no carga eléctrica. Un voltímetro también también provee información eléctrica sobre el voltaje de la batería, un estatus adicional de la misma.

Paracaídas balístico

Un sistema a mayores de seguridad también disponible es el sistema de paracaídas balístico. En el caso de que se produzca un fallo estructural por una colisión en vuelo o se pare el motor sobre un terreno hostil como un bosque, el paracaídas balístico provee un sistema añadido de seguridad. El tamaño del paracaídas es tal, que cuando se hace uso de él, la aeronave entera cae cubierta completamente por la campana. Los detalles sobre el uso del sistema paracaídas balístico se describen con mayor detalle en el Capítulo 13, Operaciones anormales y de emergencia.

Cuando se activa el sistema, un cohete se dispara hacia el exterior tirando del sistema de paracaídas hasta la longitud total de la línea y forzando así al paracaídas a salir al exterior fuera del carro y del ala.

El punto preferido de anclaje para el paracaídas se encuentra en la parte alta del ala, en el punto de cuelgue. Esto permite a la aeronave pendular descender de altura y aterrizar sobre las ruedas, amortiguando el golpe. Esto requiere guiar el paracaídas hacia la parte alta del ala mediante anillos en forma de “O” para que sea posible retirar este guiado para quitar fácilmente el ala del carro. Se alternan puntos de fijación donde no hay este guiado hacia la parte alta del ala a fin de obtener lugares donde fijarlo al mástil y al motor; de todas formas, esto permite que la aeronave descienda con el morro hacia bajo cuando se activa.

El contenedor del paracaídas balístico puede montarse en un gran número de lugares de la aeronave pendular, normalmente en lugares donde esté orientado hacia un lado para evitar que cuando se active se enrede con la hélice. El asa de activación normalmente se monta en la cubierta de vuelo para que pueda utilizarla el piloto cuando lo necesite. [Figura 3-41 y 3-42]

Figura 3-41. Localizado debajo de las piernas del piloto, el cohete al salir atravesará un panel del carenado debidamente pre-cortado para facilitar su paso.

Figura 3-42. Contenedor montado debajo del motor.

Cubierta de vuelo

La cubierta de vuelo es donde el piloto y el pasajero se sientan. Normalmente su disposición es en tándem sentándose el piloto en la parte delantera y el pasajero en la parte trasera. Cuando se emplea la aeronave pendular para la instrucción, el instructor normalmente se sentará atrás y debería poder accionar los controles de vuelo.

El piloto de delante tiene los controles de tierra y de vuelo. El pie derecho controla la aceleración y el izquierdo el freno. Este sistema es el mismo que en un automóvil. Los pies también controlan la dirección en tierra orientando la horquilla frontal moviendo al mover los pedales de los pies. A los pedales se le puede añadir un sistema adicional para que el instructor también pueda dirigir la aeronave en tierra.

El control de aceleración de crucero para la mano se emplea normalmente cuando el piloto puede seleccionar una cantidad de aceleración y permanecer en ella. Este mando de crucero normalmente se encuentra en una posición en la cual el instructor desde el asiento trasero pueda hacer también uso de él. [Figura 3-43]

La barra de control debe de estar a la altura del pecho del piloto del asiento delantero. Se suelen añadir extensiones adicionales a la barra cuando la aeronave se emplea para la instrucción de tal manera que el instructor pueda manejar la aeronave desde el asiento trasero. [Figura 3-7]

Figura 3-43. Acelerador de crucero e interruptores de encendido.

Los interruptores de encendido suelen estar instalados en la propia caja del acelerador de crucero o en un alojamiento a parte. Si la aeronave pendular se emplea para la instrucción, los interruptores de encendido deberían estar al alcance del instructor para poder accionarse desde el asiento trasero. [Figura 3-43]

El mando del paracaídas balístico debe ser accesible para que pueda accionarse si es necesario, pero no en una posición desde la cual se pueda activar de manera accidental. Algunas aeronaves pendulares incorporan dos mandos, uno para el asiendo delantero y otro para el asiento trasero.

Salpicadero y panel de instrumentos
El panel de instrumentos se sitúa en frente al piloto y provee información del motor, vuelo, navegación y comunicaciones. El piloto es responsable de evitar las colisiones realizando una continua vigilancia del entorno de la aeronave, así como estar pendiente de la información disponible en el panel de instrumentos. El piloto debe contrastar las señales externas con la información que dan los instrumentos a lo largo del vuelo al objeto de realizar un correcto proceso de toma de decisiones.

El interruptor de encendido, el cual debería estar localizado en el panel de instrumentos o al alcance del instructor a fin de que pueda ser utilizado también por éste, tiene dos posiciones: ON, la cual permite a la corriente hacer contacto con las bujías, u OFF la cual causa el cierre del interruptor en TIERRA y arrebata la fuente de energía de las bujías. Normalmente, los motores de las aeronaves pendulares incorporan dos juegos de bujías por cilindro, dos interruptores y dos sistemas de encendido completamente independientes. Algunas aeronaves pendulares de un solo asiento tienen únicamente una bujía por cilindro, un interruptor de encendido y un solo sistema de encendido.

Por ejemplo, para un motor de dos tiempos refrigerado por agua, el fabricante requerirá instrumentación que pueda indicar la temperatura de los gases de escape (EGT en sus siglas en inglés), la temperatura del agua y las revoluciones por minuto (rpm). Además, para un motor de cuatro tiempos, el fabricante instalará también un indicador de la temperatura del aceite y un medidor de presión. En un motor de dos tiempos sencillo refrigerado por aire, el fabricante instalará un EGT, un indicador de la temperatura de culata (CHT por sus siglas en inglés) e instrumentación que muestre las RPM. Generalmente la mayoría de los controles eléctricos o del motor se encuentran en el salpicadero a menos que sea necesario que puedan ser accionados por el instructor durante la instrucción.

Hay tanta variedad en salpicaderos como fabricantes y propósitos para la aeronave hay, de los más simples a los más complejos. Los instrumentos analógicos clásicos son comunes, pero la instrumentación electrónica se está volviendo cada vez más popular en los ultraligeros.

NOTA: Para certificar una aeronave ultraligera en España se requiere la instalación como mínimo de anemómetro, altímetro, tacómetro (Cuenta-revoluciones), contador horario totalizador, cinturones de seguridad y un indicador de combustible remanente salvo que el depósito sea translúcido y se pueda comprobar a simple vista.

Instrumentación de vuelo

La teoría específica a cerca del funcionamiento y detalles de la instrumentación se explica en el Manual de Conocimientos Aeronáuticos de la FAA (*Pilot´s HandBook of Aeronautical Knowledge*), cuya lectura es un requisito previo para esta sección. El altímetro es el instrumento más importante para el vuelo y debería estar instalado en todas las aeronaves. Se emplea para mantener la altitud adecuada en las proximidades del aeródromo y durante un vuelo de crucero, proveyendo también información sobre la posición de otras aeronaves auxiliando a la seguridad de todos.

El indicador de velocidad vertical (VSI por sus siglas en inglés), también llamado variómetro, es una herramienta que permite al piloto evaluar la *performance* de la aeronave. El indicador de velocidad de viento relativo (ASI en sus siglas en inglés), también llamado anemómetro, se utiliza para optimizar la *performance* prevista comparándola con la actual y para operar dentro de los límites de la aeronave.

Instrumentación para la navegación

El sistema de posicionamiento global (GPS por sus siglas en inglés) se utiliza para la navegación y como ayuda en la mayoría de las aeronave pendulares. El compás magnético se emplea como un sistema de navegación primaria o como apoyo del GPS.

Instrumentación del motor

Existe una amplia variedad de instrumentos para el motor. El más básico es el medidor de rpm del motor, el cual muestra la potencia del motor. Los instrumentos específicos del motor se detallan en la sección sobre motores de este libro.

Disposición del panel de instrumentos

Los paneles de instrumentos varían mucho, desde el más básico, al más complejo.

La Figura 3-44 representa un panel de instrumentos estándar, suministrado por el fabricante con un GPS portátil colocado en el medio. Los componentes eléctricos se encuentran bien ordenados a lo largo de la parte superior. Anemómetro grande analógico (Izquierda) y altímetro (Derecha), instalados en el medio con un GPS portátil entre los dos. En la parte inferior se encuentran los dos instrumentos básicos en un motor de dos tiempos sencillo refrigerado por aire: tacómetro que indica la potencia (Arriba), CHT (Medio) y EGT (Abajo).

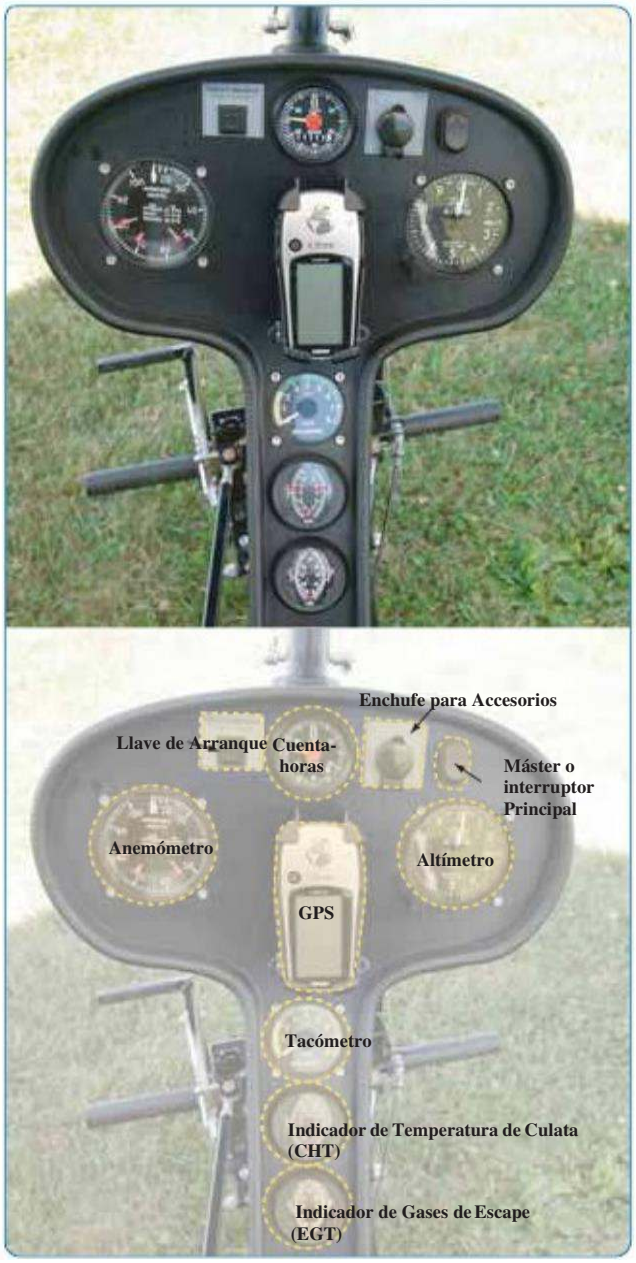

Figura 3-44. Instrumentación básica de vuelo y del motor.

En la figura 3-45 se muestra un panel analógico avanzado con una radio portátil y un GPS añadidos. A los largo de la parte superior podemos ver un variómetro y un altímetro.

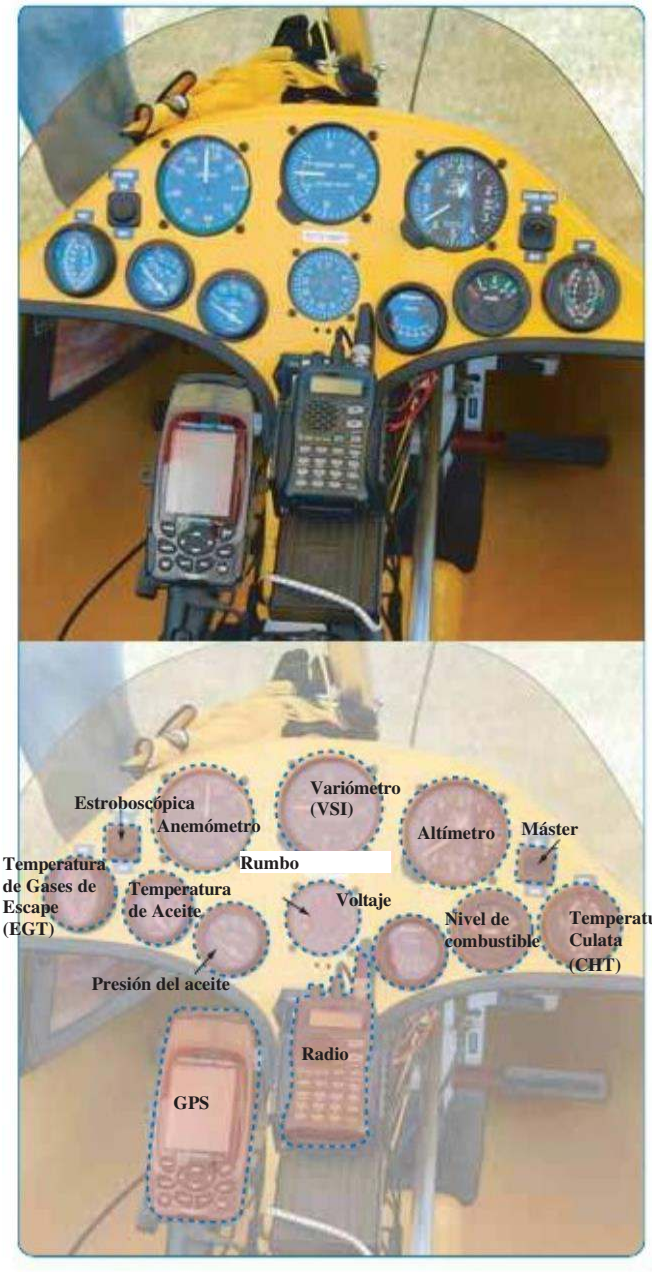

Figura 3-45. Instrumentación completa analógica.

El giróscopo de navegación se encuentra en el centro del panel. La fila inferior corresponde a los instrumentos para un motor de cuatro tiempos, los cuales realizan mediciones de manera eléctrica y remota. El propietario instaló un sistema de radio completa y un GPS por lo que resulta un panel muy bien equipado. En la figura 3-46 se muestra un panel híbrido analógico, digital y con instrumentos portátiles.

Un sistema de panel digital aporta más opciones en un menor espacio. Un solo panel puede actualmente tener pantallas de rendimiento, pantallas de los sistemas del motor, pantallas de navegación, pantallas de comunicaciones, indicador de actitud o cualquier combinación de éstos. [Figura 3-47]

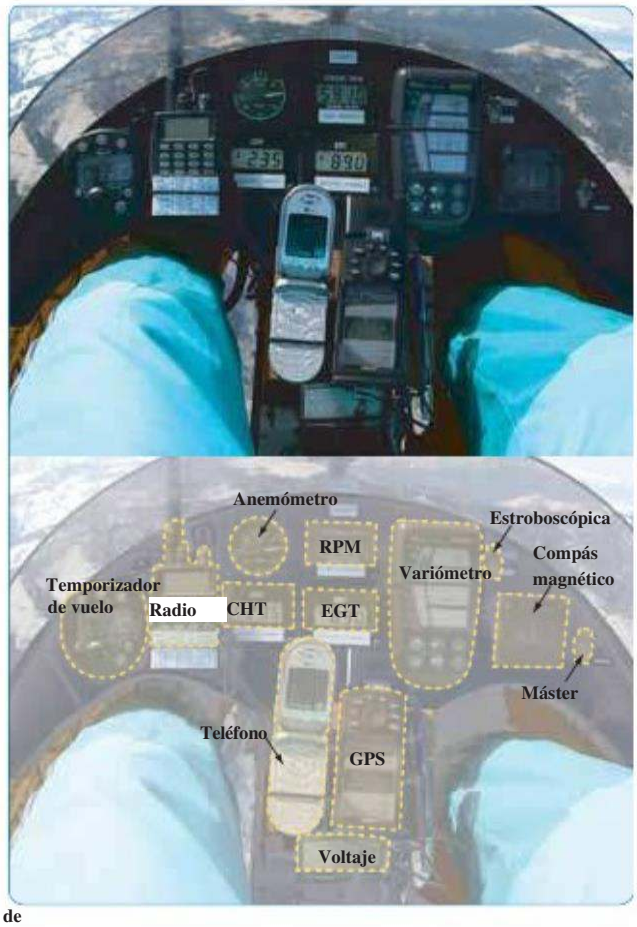

Figura 3-46. Instrumentación híbrida- compás y anemómetro analógicos con instrumentos digitales por separado.

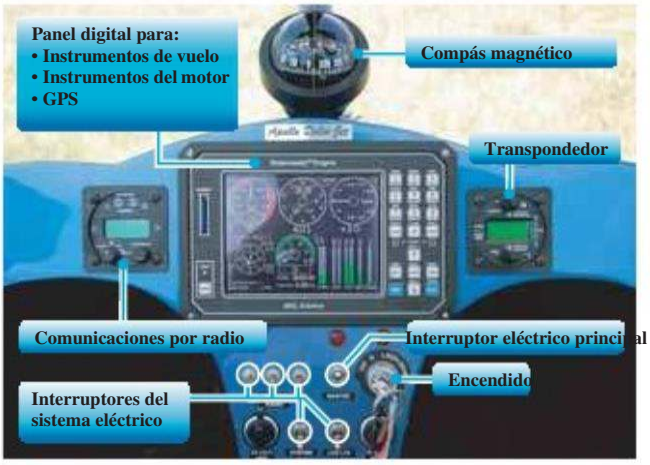

Figura 3-47. Panel de instrumentos digital.

Comunicaciones

Existen tres tipos de sistemas de comunicaciones utilizados en las aeronaves pendulares:

1. Comunicaciones entre piloto y pasajero mientras se encuentran en la aeronave.
2. Comunicaciones por radio de la propia aeronave con otras y la torre de control.
3. Comunicaciones que indican la posición de la aeronave a las torres de control (Transpondedor).

Que las comunicaciones sean claras y fáciles ya sea entre piloto y pasajero o entre alumno e instructor, es clave para la seguridad y la diversión. Los sistemas de comunicaciones modernos incorporan sistemas avanzados para eliminar el sonido ambiente en los cascos y en el micrófono, reduciendo el sonido del motor y del viento. Cada sistema es único y la calidad del sonido y la capacidad para eliminar el sonido ambiente varía entre modelos. Algunos sistemas se activan por la voz de tal manera que únicamente funcionan cuando alguien habla por el micrófono; otros sin embargo incorporan un sistema estable el cual no se activa por la voz. Debido a la gran diferencia existente entre los sistemas disponibles, es mejor probar distintos sistemas antes de comprar uno a fin de determinar cual es mejor para la aeronave. [Figura 3-48]

Aunque el uso de radio sólo es obligatoria en espacios aéreos controlados, si es posible que no sea muy bien recibido en ciertos aeródromos no controlados con mucho tráfico si no la lleva. El uso de la radio es siempre recomendable por la seguridad de uno mismo, la de los pasajeros y el resto de pilotos. En la Figura 3-49 se muestra un esquema de un sistema completo de radio y sus accesorios.

Figura 3-48. Sistema de comunicación básico entre piloto y pasajero.

En aeropuertos comerciales siempre le exigirán tener instalado un sistema de receptor/transmisor de radio para señal de radar, en los que tengan tráfico de las clases C y B, y en altitudes por encima de los 10,000 pies sobre el nivel del mar (MSL) (A menos que la aeronave esté certificada sin un sistema eléctrico que pueda dar energía a la Unidad). Este sistema se conoce como transpondedor, el modelo C, el cual envía una señal la cual da a la torre de control la localización exacta y la altitud de la aeronave. [Figura3-47].

NOTA:Se debe señalar que en España (y sólo en España) los ultraligeros tienen totalmente prohibido volar a una altitud superior a 1,000 pies y en zonas con control de tráfico.

Sistema de propulsión

El sistema del propulsión está compuesto por el sistema de combustible, por el motor, la reductora y la hélice. Los componentes básicos del sistema y su explicación detallada se encuentra en el Capítulo 4, Sistemas del motor.

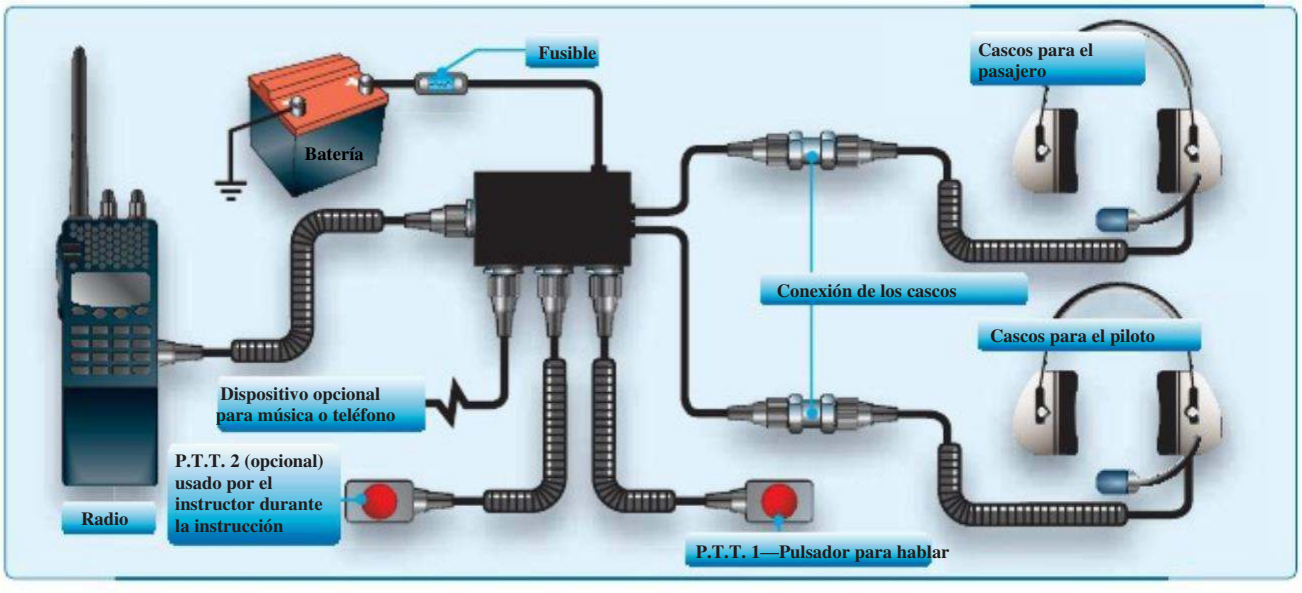

Figura 3-49. Ejemplo de un sistema de comunicaciones por radio de la cubierta de vuelo.

Componentes del sistema de combustible

Las aeronaves pendulares están equipadas con depósitos de combustible con una capacidad que suele oscilar entre los 18 y 75 litros. Como en cualquier aeronave, conocer cuanto combustible puede portar el depósito es crucial para las operaciones de vuelo. La definición legal de ultraligero no establece limitación en el tamaño del depósito, sólo en el peso máximo al despegue de la aeronave.

Generalmente, el depósito de combustible se sitúa cerca del CG de tal manera que el gasto de combustible no afecte al balance del trike. Algunos depósitos son translúcidos de manera que permiten ver la cantidad de combustible que contiene [Figura 3-50], pero otros son opacos y requieren sondas de nivel para conocer la cantidad de combustible remanente. [Figura 3-51]

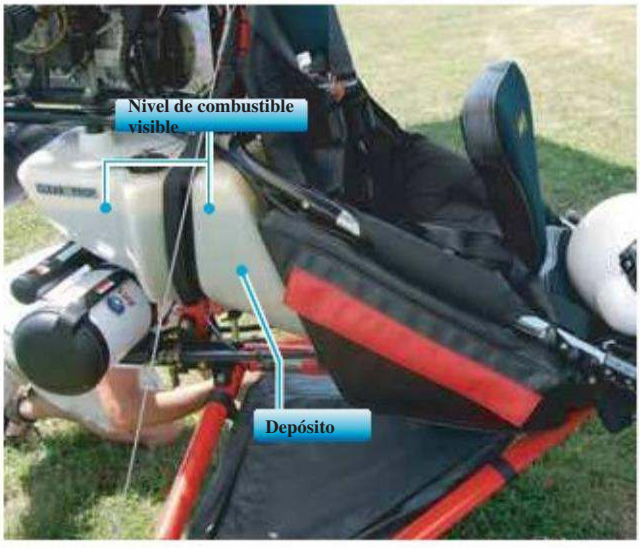

Figura 3-50. Tanque de combustible translúcido.

Figura 3-51. Toma de combustible de llenado de tanque, el cual se encuentra debajo del asiento del pasajero.

Los conductos del combustible salen del depósito y pasan los filtros de combustible y la bomba de combustible, todo lo cual puede estar integrado en el carro. Es necesaria ventilación en el sistema (una entrada para el aire), la cual suele consistir en un agujero en el tapón del depósito o por conductos de ventilación en el lugar apropiado.

Debería instalarse una válvula de corte del suministro de combustible, y ésta puede instalarse en cualquier lugar a lo largo de los conductos. Algunos diseños incorporan una válvula de drenaje del depósito para retirar el agua y la contaminación sólida.

Motor y reductora

El motor de una aeronave pendular típica puede ser de dos o cuatro tiempos, pudiendo refrigerarse por agua o por aire y normalmente poseen una potencia comprendida entre los 50 y 100 CV. Algunos motores incorporan sistemas de puesta en marcha eléctricos y en otros el sistema de puesta en marcha es manual, el cual utiliza una cuerda. La mayoría de las aeronaves pendulares tienen instalada una caja reductora, la cual reduce las rpm de la hélice en una proporción entre ½ y ¼ con respecto a las del motor. [Figura 3-52]

Figura 3-52. Caja de la reductora.

Una gran parte del peso total en vacío de la aeronave corresponde al motor (Incluyendo motor, reductora y hélice) y su montaje. Cuando se remolca la aeronave pendular por un terreno lleno de baches o en viajes largos, los botes del remolque pueden causar un estrés extremo en la estructura del carro. Además, repetidos aterrizajes con tomas fuertes pueden dañar las soldaduras del montaje del motor. Inspecciones detalladas del montaje del motor son imprescindibles en cualquier inspección pre-vuelo y post-vuelo.

Los sistemas de motorización son tan variados como potencias hay. La tecnología moderna ha permitido que estos sistemas sean más ligeros, silenciosos, eficientes y más importante aún, fiables.

La hélice

Las hélices se definen como “Convertidores de potencia”, debido a que su función es intercambiar la potencia del motor por empuje. El empuje es la fuerza que propulsa la aeronave a través del aire, haciéndola avanzar. Aerodinámicamente hablando, una hélice es una superficie sustentadora rotativa y a ella se aplican los mismos principios aplicables a las alas, excepto que la hélice provee una fuerza horizontal de empuje.

Figura 3-53. Hélice de cuatro palas.

Las hélices normalmente se componen de dos, tres o cuatro palas. [Figura 3-53 y 3-54] Las hélices de las aeronaves pendulares pueden ser de paso variable únicamente en tierra o de paso fijo. Las hélices de paso variable en vuelo no están disponibles para este tipo de aeronaves. El paso debería estar apropiadamente fijado para su aeronave de tal manera que se encuentre en el rango de rpm recomendadas para el motor cuando se aplique potencia al máximo. Si tiene cualquier duda sobre sobre como emparejar las rpm, la reductora y el rango de velocidades para un motor específico consulte el manual del avión (POH), dado que el mismo indica que hélice específica debería ser colocada para cada aeronave en particular.

Como en cualquier avión, las hélices de las aeronaves pendulares giran a tan alta velocidad que se vuelven invisibles cuando están en movimiento. Los peligros de una hélice girando requieren que el piloto mantenga en todo momento el mayor nivel de seguridad y respeto por las posibles consecuencias que el contacto con una hélice en movimiento pueda ocasionar en partes del cuerpo de personas o animales.

Figura 3-54. Hélice de tres palas.

Los pequeños fragmentos de arena y tierra durante el despegue/aterrizaje son un peligro para la hélice, así como para las personas que se encuentren en el área del chorro de propulsión o en las proximidades de la hélice. Piedras, pequeñas piezas metálicas y palos pueden volverse peligrosos proyectiles si son golpeados por la hélice durante la puesta en marcha, rodadura, despegue y los aterrizajes. Igual que con cualquier componente del fuselaje o del ala de la aeronave pendular, si la hélice es dañada, mellada o campaneada, el rendimiento de la misma puede verse afectado. Algunos pilotos usan cinta protectora plástica pegada sobre el borde de ataque de la hélice para protegerla del daño producido por el impacto de partículas de arena y tierra. De todas maneras, un adecuado cuidado de la hélice es tan crítico como un esmerado cuidado del motor o el ala.

Sumario del capítulo

Los componentes y sistemas de la aeronave pendular o trike se pueden clasificar por su situación en la aeronave: el ala y el carro. El componente principal del ala es su estructura, la cual está compuesta por los bordes de ataque, quilla, transversal y el triángulo de control. La estructura típica de un ala posee cables inferiores y cables superiores con un mástil. La versión arriostrada sustituye el aparejo superior por riostras. La estructura está diseñada de tal manera que el exterior del borde de ataque flexe y que también tenga un sistema de control que permite que la quilla se mueva de lado a lado en relación con el borde de ataque para el control del alabeo. La vela está diseñada específicamente para la estructura y posee sables y refuerzos del borde de ataque que la conforman y la aportan algo de rigidez para mejorar sus características aerodinámicas.

El carro es independiente del ala. Se pueden colocar distintas alas en el mismo carro en cada momento para distintos tipos de vuelo. (Por ejemplo: Se emplean alas grandes para volar lento y bajo, y para largas travesías pueden emplearse alas pequeñas para volar rápido). Como ya se ha explicado en el Capítulo 2, Aerodinámica, cada aeronave debe estar aprobada por el fabricante para cada carro en particular.

Los componentes principales del carro son el mástil, la quilla del carro, tubo frontal y la bancada de motor. Esta estructura contiene la cabina de vuelo, el motor y el tren de aterrizaje. La estructura del carro también porta los componentes del sistema lo cual incluye el sistema eléctrico, el paracaídas balístico y el tanque de combustible. La cabina de vuelo es el corazón del carro proveyendo al piloto de los sistemas de comunicación, navegación, instrumentos del motor/vuelo/navegación y los controles eléctricos.