

Richard Nakka's *Experimental Rocketry* Web Site

Construcción de cohetes

Traducido por José L. Sánchez

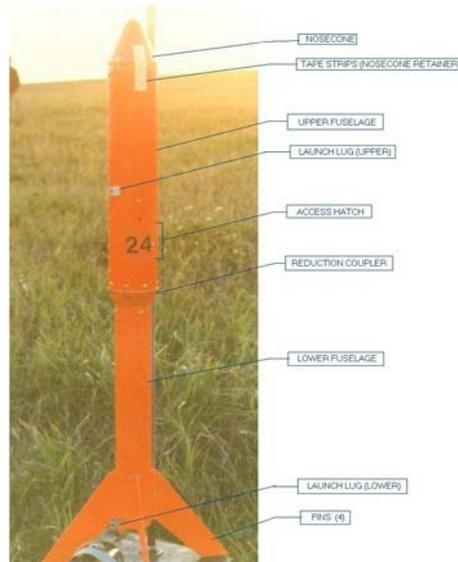


Foto de cohete típico (Vuelo C-24) mostrando sus componentes principales

FUSELAJE

Mi primer cohete de aficionado era bastante simple, consistiendo en un tubo delgado de acero de diámetro 1.17 pulgadas (3.0 cm) y una longitud de 15 pulgadas (38 cm), sirviendo como fuselaje y con un nosecone de madera dura y tres aletas hechas de hoja de aluminio. El motor que lo impulsó era uno de los primeros motores que yo había desarrollado, su tamaño 0.69 pulgadas (1.75 cm) de diámetro y 8.5 pulgadas (22 cm) de longitud, montado en la parte inferior del fuselaje de cohete. Volé este cohete un total de cuatro veces (Vuelos A-1 a A-4), a una altitud máxima de alrededor de 500 pies (150 m). Aunque no fuera equipado con ningún tipo de sistema de recuperación, este sobrevivió a los aterrizajes difíciles razonablemente bien, debido a la fortaleza del fuselaje de tubo de acero, y el hecho de que era de peso ligero.

Más tarde, desarrollé motores más grandes. Ya que los cohetes impulsados por estos motores fueron pensados para alcanzar altitudes mucho más altas, y serían considerablemente más pesados, era necesario tener un sistema de recuperación de paracaídas. Calculé que requerirían que un paracaídas de diámetro de 3 pies (91 cm) que redujera la caída del cohete a una velocidad razonable. Para facilitar la construcción de un sistema de eyección, y evitar la necesidad de alojar el paracaídas demasiado ajustado, al principio usé un tubo de aluminio de diámetro de 2 pulgadas (5 cm) para el fuselaje. Después de dos exitosos vuelos iniciales con este cohete (el Vuelo B-1 y B-2), excepto, por el fracaso del sistema de eyección del paracaídas, decidí usar un fuselaje de diámetro aún más grande, al menos durante la fase de desarrollo del sistema de eyección

de paracaídas. Tres pulgadas (7.6 cm) parecía lo más adecuado. Como esto resultó ser correcto, todos mis cohetes subsecuentes usarían un fuselaje de este diámetro, al menos en la parte superior.

Encontrar tubería de aluminio de tres pulgadas de diámetro resultaba ser un gran desafío. Todas las tuberías que encontré tenían paredes demasiado gruesas, y rebajar estas en un torno no era lo más acertado (por lo general se rajarían en la costura soldada). En vez de aluminio, usé tubo de cartulina gruesa reforzada para los cinco siguientes vuelos (B-3 a B-7). ¡La desventaja de la cartulina era el grueso de las paredes que reducían el volumen interior, y las limitaciones prácticas! (¿alguna vez trataron de taladrar un agujero limpio en la cartulina?). Para los ocho siguientes vuelos (B-8, el Punto 1 al Punto 7), usé el tubo de desagüe de cloruro de polivinilo que realmente trabajó razonablemente bien. Las paredes eran de 5/64" (2 mm) de gruesas obteniendo un fuselaje de peso ligero. Realmente no puedo recordar por qué abandoné el cloruro de polivinilo, pero para la siguiente serie de vuelos de la serie C volví a un fuselaje de aluminio. ¡Quizás era debido a la fragilidad de cloruro de polivinilo en tiempo frío (toda la serie de vuelos se realizaron en invierno), o quizás era simplemente porque yo propicio al uso de aluminio como el material de mejor opción! De todos modos, para los dieciocho primeros vuelos de la serie C, usé tubería de aluminio de tres pulgadas de diámetro con un grosor de pared entre 0.035 a 0.050 pulgadas (0.9 a 1.3 mm) para el fuselaje superior del cohete, que almacenó el sistema de paracaídas y la carga útil. El fuselaje inferior, que almacenó el motor, fue fabricado con tubería de aluminio de 2 pulgadas de diámetro exterior, con paredes relativamente gruesas (0.070 pulgadas; 1.8 mm) para facilitar el montaje de las aletas, el motor, y los lugs.

Para el siguiente vuelo (C-19), decidí intentar algo diferente. ¿En vez de usar la tubería estándar de aluminio, que, además era difícil de encontrar en el mercado, ¿por qué no tratar de hacer mi propia tubería? La plancha de aluminio delgada era fácilmente disponible, de hecho, yo la había usado para otras partes del cohete. Si yo pudiera lograr conformar la hoja a una forma cilíndrica, sería perfecto para fabricar fuselajes de cualquier tamaño. Después de un poco de experimentación, logré fabricar un fuselaje bastante atractivo, muy ligero de peso, teniendo un grosor de la pared de 0.018 pulgadas (0.5 mm). Este método funcionó tan bien que todos mis fuselajes de cohete subsecuentes fueron construidos de esta misma manera.

[Como construir un fuselaje de cohete con chapa de aluminio](#)

Fuselaje del Cirrus Uno

El cohete *Cirrus Uno*, fue el primero del Proyecto Cirrus y el primero de mi "segunda generación" de cohetes, tenía un fuselaje hecho del tubo de desagüe de cloruro de polivinilo, con un diámetro exterior de 3.25 pulgadas (83 mm) y un grosor de la pared de 0.11 pulgadas (2.8 mm). Aunque esta tubería fuera más bien pesada (1 kilogramo/metro), era agradable trabajar con ella para conseguir un fuselaje fuerte. Para el cohete Cirro 2, investigo el empleo de tubería de cloruro de polivinilo de gotera PLASTMO. Este material parecería ser el material de fuselaje ideal, pesando el 40 % menos que el tubo de desagüe de PVC (0.59 kilogramos/metros), con un diámetro exterior de 3.0 pulgadas (76 mm) y el grosor de la pared de 0.070 pulgadas (1.8 mm). Esta tubería también viene al diámetro de 4 pulgadas (de 102 mm).

Ojiva

Tomando un modelo de la cohetaría amateur, mis primeros cohetes tenían una ojiva fabricada en madera. Ya que no estuve demasiado preocupado por el peso, usé una madera dura, abedul o arce, y fabriqué la ojiva mediante un torno de madera. El abedul, y en particular, el arce, fue muy satisfactorio debido a la densidad de la madera consiguiendo fácilmente un acabado liso una vez impermeabilizado y pintado. Más tarde experimenté con otros materiales no metálicos como fibras de vidrio, plástico reforzado, y el plástico termo conformable. El primero tenía la ventaja de ser excepcionalmente ligero; ¡la desventaja consistía en que era difícil de conseguir un acabado liso a no ser que fueran aplicadas varias capas de resina sobre el paño de fibra de vidrio (y era un trabajo excesivo) . El plástico termoconformable tenía la ventaja de tener una superficie muy lisa . El bastidor de la ojiva fue hecho utilizando un modelo pintado de madera para crear un molde de yeso. Otra ventaja agradable de plástico termoconformable consiste en que podía ser pintado de cualquier color. La desventaja es el peso, ya que requería paredes gruesas pues el material no es particularmente fuerte.

El sistema de eyección de paracaídas que había sido desarrollado durante este tiempo requirió que la ojiva fuera robusta, como la misma debía ser fácilmente expulsada para extraer el paracaídas, ninguna ojiva de plástico demostró ser adecuada durante las pruebas en tierra del sistema, entonces decidí volver al aluminio para la ojiva. Estas fueron hechas mediante mecanizado en un torno mecánico, a partir de una barra de aluminio de 3 pulgadas de diámetro. Las ventajas de aluminio son: la fuerza, la facilidad de trabajar a máquina el producto final para dar las dimensiones de tolerancia, así como la flexibilidad de diseño que el trabajo a máquina permite. Este punto último es evidente siendo la ojiva que usé en mis cohetes posteriores, que incorporaron las partes del sistema de eyección de paracaídas. Las desventajas son evidentes, el costo del material por las elevadas pérdidas debidas al desperdicio del mismo. ¡También, trabajando a máquina una ojiva se adquiere una gran habilidad!.

Ojiva Cirrus Uno

El *Cirrus Uno* tenía una ojiva que fue fabricada de poliéster reforzado con fibra de vidrio. El proceso de fabricación implicaba un molde "macho" de madera dura (arce) de la forma exacta y las dimensiones de la ojiva final. Un molde "hembra" fabricado aplicando varias capas de látex líquido sobre el molde de madera, dejando secar cada capa antes de la aplicación de la siguiente. Para reforzar el látex, se utilizó tejido de algodón. El motivo de usar el látex era principalmente para facilitar el desmoldeo dada su flexibilidad. El molde de látex una vez terminado se reforzó mediante anillos de cartulina acanalada, para conseguir cierta rigidez. Para fabricar la ojiva, la resina de poliéster fue aplicada en capas en el interior del molde de látex, añadiendo dos capas de paño de fibra de vidrio como refuerzo. El grosor final de la pared de la misma variaba entre 2 y 3 mm. Aunque el producto final resultó bien, fuerte, terso, y de peso ligero, implicó un gran esfuerzo. Una aproximación más simple está siendo estudiada para la ojiva del *Cirrus Dos*: styrofoam (styrene) reforzado con capas de resina de epoxi sobre la superficie externa.



Aletas

Casi todas las aletas de mi " primera generación " de cohetes fueron fabricadas de hoja de aluminio de (0.051 en/1.3 el mm) la. La única excepción era el Vuelo C-34, cuando equipé el cohete con aletas hechas de hoja plexiglás (acrílica). de 0.075 en (1.9 mm)

También, todos estos cohetes fueron realizados con cuatro aletas, con una excepción del primer cohete, usado en Vuelos A-1 a A-4, que tenía tres aletas. Lo que realmente varió considerablemente, sin embargo, fue el tamaño y la forma de las aletas. Muchos factores desempeñaron un papel en esto. Uno de los factores más significativos era definir el tamaño justo de las aletas para proporcionar la estabilidad adecuada. La reducción al mínimo del tamaño de aleta fue considerada importante, no tanto por el peso o consideraciones de drag, más bien para reducir el "shuttlecocking", es decir el efecto del viento sobre las mismas. Mis primeros cohetes tenían aletas grandes, y me esforcé para reducir el tamaño gradualmente, hasta que terminé con problemas de estabilidad. Por ejemplo, el cohete para el Vuelo C-19 tenía aletas tan reducidas de tamaño, que el cohete era inestable después de agotado el combustible, y comenzó a caer un poco después del despegue. Por suerte, fue un solo cohete el que se hizo inestable en vuelo. El cálculo posterior del centro de presión del cohete comparado con el centro de gravedad del mismo, confirmó el problema de estabilidad. Otra razón por la que yo había querido reducir el tamaño de las aletas era simplemente reducir el costo de hoja aluminio. Las aletas continuamente se deterioraban en el aterrizaje, y tenían que ser desechadas, aun cuando el paracaídas reducía bastante el impacto este seguía siendo excesivo. Terminé solucionando esto parcialmente avanzando la posición de las aletas para el Vuelo C-35.

Intenté usar aletas de plexiglás,. Lamentablemente, el cohete "gastó" las cuatro aletas inmediatamente después del despegue. Rompiendo limpiamente cada mitad externa de la aleta! ¡Este vuelo en particular fue impulsado por el motor más grande C-400 por suerte, el cohete permaneció estable, y alcanzó la altitud más alta de cualquier cohete volado (¡la reducción del drag probablemente fue la causa!).

En la primera generación de cohetes usé dos métodos diferentes de asegurar las aletas al fuselaje del cohete. Una técnica consistía en doblar un reborde en aproximadamente

105 grados a lo largo del borde de raíz de la aleta. Este reborde se fijaría al fuselaje mediante el uso de pequeños tornillos autorroscantes. La segunda técnica consistía en montar dos pequeños ángulos fabricados en acero ligero, al fuselaje, usando tornillos autorroscantes o remaches. La aleta se desliza entre los ángulos y se asegura con tornillos. Estos dos métodos son ilustrados en la **Figura 1**

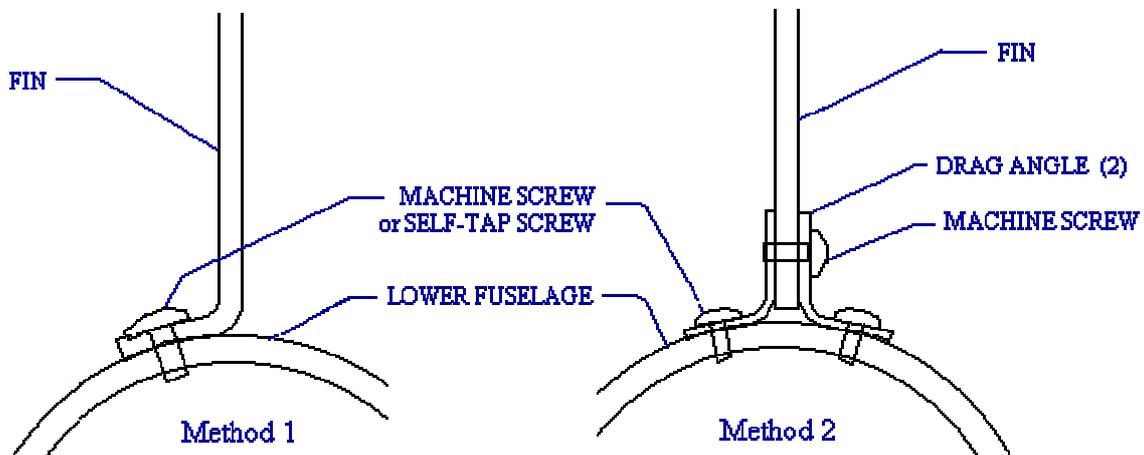


Figura 1 Métodos para la fijación de las aletas

La ventaja del primer método es la simplicidad del concepto. La desventaja está en el plegado del aluminio, es decir obtener un radio pequeño sin rajar el material y también, hacer el ángulo con exactitud con el fin de alinear simétricamente las cuatro aletas. La ventaja del segundo método consiste en que no era necesario doblar un reborde sobre las aletas. Esto redujo enormemente el trabajo en la fabricación de aletas de recambio,. Otra ventaja consistía en que una vez que los ángulos se instalaron, no era necesario una posterior alineación tras la sustitución de las aletas. La desventaja es la mayor complejidad del método, requiriendo una fabricación cuidadosa y fijado de los ángulos

Aletas del Cirrus Uno

El cohete Cirro fue equipado con un juego de tres aletas de aleación de aluminio (6061-T6), con un grosor de 0.063 pulgadas (de 1.6 mm). El método de diseño de la aleta era radicalmente diferente al método usado para " la primera generación " de cohetes. Las aletas del Cirro fueron cortadas con un perfil que incluyó dos "ganchos". Estos ganchos se encajaban en las ranuras practicadas en el fuselaje de cloruro de polivinilo. Para efectuar el apoyo de las aletas contra el fuselaje cada aleta llevaba incorporados sendos tapajuntas en el lado del fuselaje. Se muestra este concepto en la **Figura 2**.

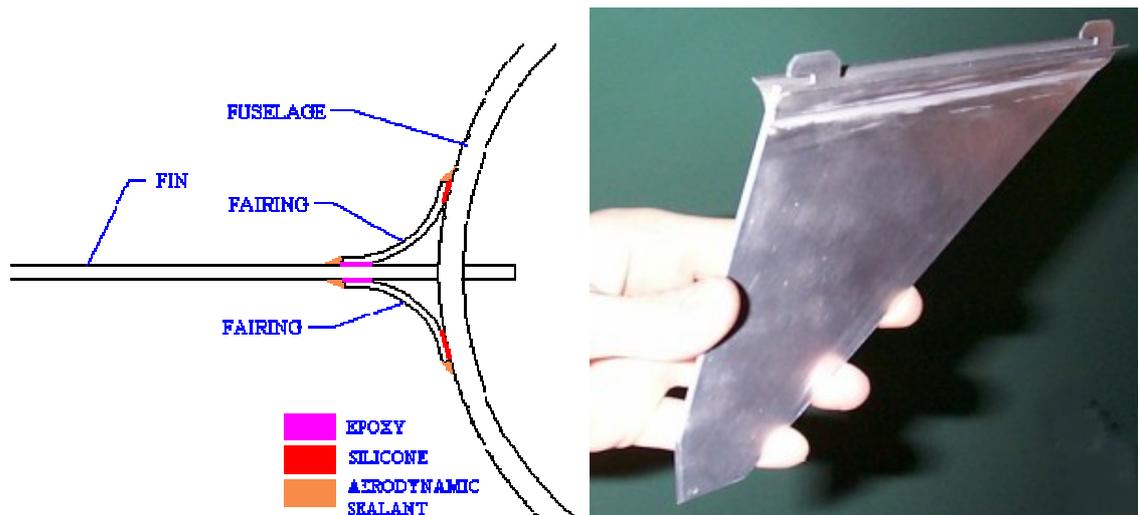


Figura2 Aletas del Cirrus Uno: Izd.: Fijación, vista desde arriba. Dch: Ensamblaje

Las ranuras en el fuselaje median 0.75 x 0.065 pulgadas . El tapajuntas fue fabricado de tubería 0.875 x de 0.035 pulgadas de aluminio, cortada longitudinalmente en cuatro partes, y pegada con epoxi a cada aleta. Antes de la inserción de la aleta en las ranuras de fuselaje, se puso una capa de pegamento de silicona en las superficies de contacto con el fuselaje (se usó silicona teniendo en cuenta el desmontaje posterior de las aletas). La unión de las aletas con el tapajuntas fue sellada con epoxi para reducir drag. Este método de aletas aseguró una estructura segura, y era aerodinámicamente "limpia". Ver ["Diseño de aletas para cohete Cirrus"](#)

¿Cuál es el objetivo de aletas en un cohete? ¿Cuántas? ¿Y qué forma deberían tener? A excepción de mi primer cohete de la serie "A", el cohete B-1, y el Cirro, todos mis cohetes han tenido un fuselaje inferior de un diámetro ligeramente mayor que el diámetro del motor. El fuselaje superior, sin embargo, ha tenido un diámetro más grande, principalmente para tener un espacio de carga útil generoso y espacio para el sistema de paracaídas. Por consiguiente, era necesario un acoplador reductor para unir las dos secciones. En versiones anteriores fueron fabricados en madera dura, sin embargo, mis acopladores posteriores fueron realizados a torno (como la ojiva) de una sola de barra de aluminio. El acoplador era hueco, con un grosor de pared de aproximadamente 0.080 pulgadas (2 mm). Yo había puesto un taco de fibra de vidrio dentro del acoplador para aislamiento, como barrera contra los gases calientes que inevitablemente se escaparían por delante de la cabeza de motor. Ocho pequeños tornillos aseguraron , el fuselaje superior, y el fuselaje inferior. El motor fue montado de tal forma que la fuerza de empuje ascendió directamente por el acoplador. Esto esta detallado en la sección de retención del motor.

Acoplador del Cirrus Uno

El *Cirrus Uno* tenía un fuselaje de dos partes, con la sección inferior que sirve de alojamiento al motor, y el fuselaje superior para la carga útil y el paracaídas (el objetivo de tener el fuselaje en dos secciones era para tener mayor capacidad de transporte). El diámetro de ambas secciones de fuselaje, sin embargo, era el mismo (3.25 pulgadas).

Como tal, el acoplador era de diseño y construcción relativamente simple. Este consistió en dos hojas de metal (6061-T6, 0.063 pulgadas de espesor), curvadas para adaptarse al contorno interior del fuselaje. Cada anaquele fue asegurado al cohete con ocho tornillos de 6/32 avellanados. Se muestra este acoplador en la **Figura 3**



Figura 3 – Acoplador del fuselaje del Cirrus Uno

Retención del motor

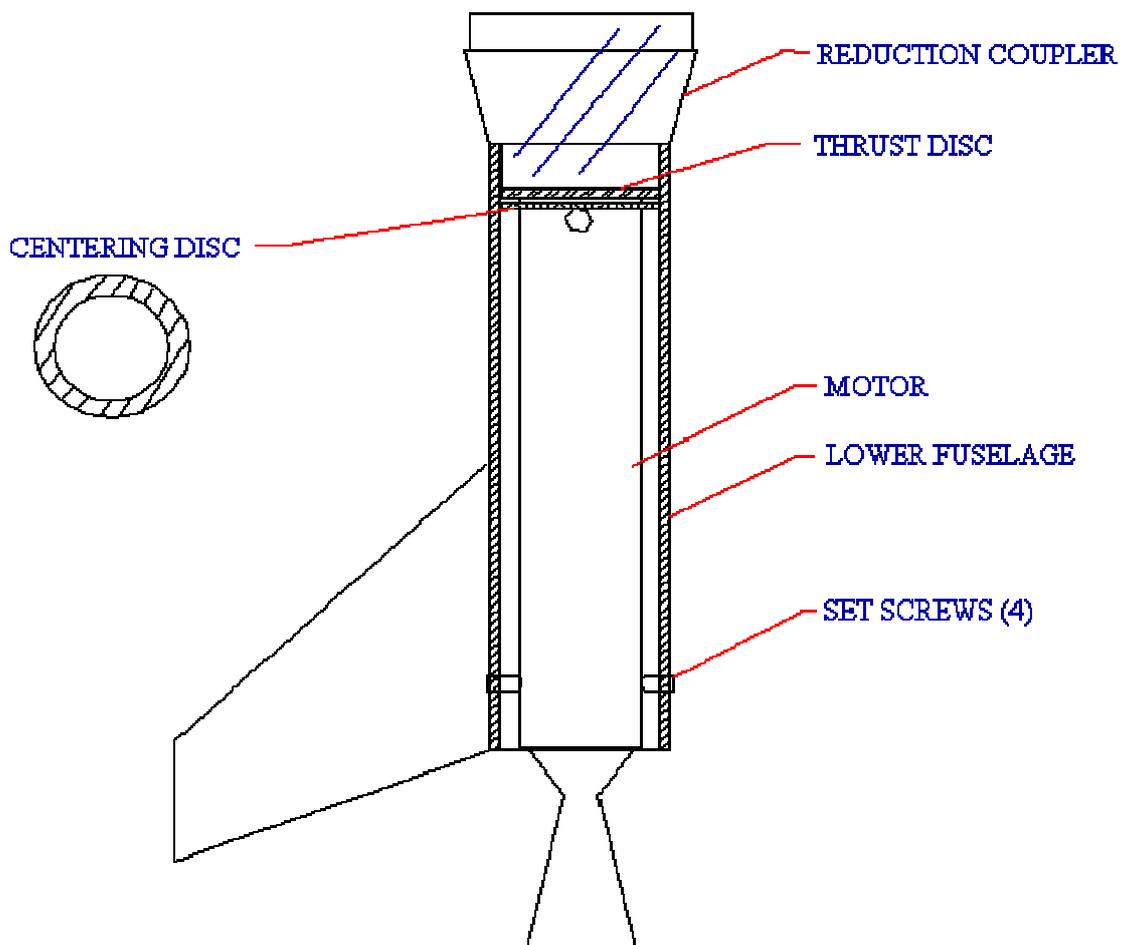


Figura 4 – Método de montaje del motor

En la **Figura 4** se muestra el método que usé para montar los motores en el fuselaje inferior. Un juego de cuatro tornillos fueron instalados en la parte inferior del fuselaje. Estos servían para retener el motor y como ajuste fino para la alineación del mismo. Un disco de centrando fue instalado por encima del motor y encima del cierre superior, asegurando la alineación del motor en el extremo delantero del fuselaje inferior. Este disco fue fabricado con hoja de aluminio de 16.

Con dicho sistema, la fuerza de empuje del motor es transmitida a la estructura de cohete mediante el acoplador reductor. Encajado entre el motor y el acoplador hay un disco de empuje circular contra el cual la fuerza del empuje es aplicada directamente al reborde inferior del acoplador reductor (observe que los tornillos de ajuste no transmiten ninguna fuerza de empuje). El disco de empuje fue fabricado en chapa de acero de 10 (0.10 in/2.5mm)

Cirrus Uno Montantes del motor

Para el *Cirrus Uno*, los ganchos de las aletas proporcionaron el apoyo lateral de la parte inferior del motor y lo centró dentro del fuselaje inferior. El final superior del motor fue centrado por tres piezas que también sirvieron para transmitir el empuje del motor al fuselaje (el empuje máximo de motor era 350 libras.). Cada pieza fue asegurada al fuselaje con dos tornillos de acero 6/32 (180 ksi) avellanados. Dichas piezas fueron fabricadas de aleación de aluminio 6061-T6. **La figura 5** muestra el detalle del diseño de montaje.

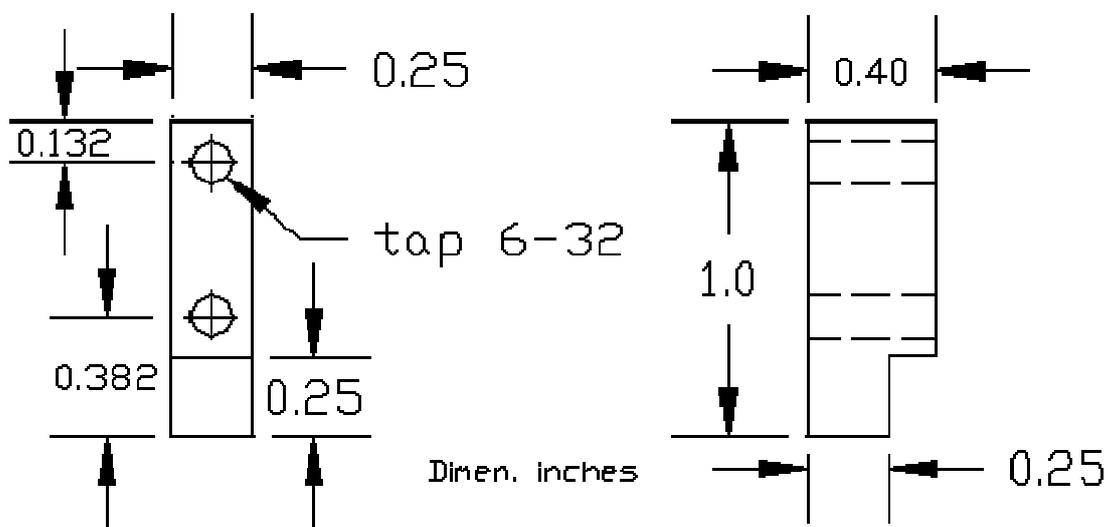


Figura 5 – Montantes de motor usados en cohete Cirrus Uno

Guias de lanzamiento

Siempre he usado lugs para el lanzamiento, como solución temporal para dirigir el cohete sobre la trayectoria de vuelo. Una idea tomada directamente de cohetemodelismo el lug (que se deslizan sobre una barra de lanzamiento) proporcionó una solución simple. La desventaja principal es la fricción parásita que ellos inducen, especialmente cuando cuatro de estos lug son fijados al cohete. Dado que el sistema funcionó bien no estuve demasiado preocupado por la fricción adicional sobre el cohete, no intenté

inventar un método alternativo más elegante. La razón es que yo usó cuatro lug (2 superiores; 2 más abajo), mejor que dos (1 superior; 1 más abajo), ello debe proporcionar un lanzamiento más equilibrado e impedir al cohete virar en su ruta de vuelo directo.

Los lug fueron fabricados de tubería de aluminio de 10mm de longitud, de 0.75 (19mm) O.D. y 0.65 (16.5mm) I.D. (deslizando sin apretar sobre la barra de lanzamiento de diámetro 1/2"), y eran fijados al cohete con un solo tornillo y tuerca. Los lug inferiores tenían cada uno un espaciador entre ellos y el fuselaje.



Flight B-3

Wood Nosecone
Cardboard Fuselage



Flight B-8

Fibreglas Nosecone
PVC Fuselage



Flight C-7

Thermoset Nosecone
Aluminum Fuselage



Flight C-16

Aluminum Nosecone
Aluminum Fuselage