

# MODELISMO ESPACIAL



**MANUAL DEL CONSTRUCTOR  
DE MODELOS ESPACIALES  
Nivel de Iniciación.**

Foto de portada:  
Mario García.

## AVISO AL LECTOR

Este documento fue confeccionado por su autor para su **distribución gratuita** por la WWW en formato electrónico PDF. Usted puede distribuir y copiar la totalidad o partes del mismo, ya sea en soporte electrónico o físico, siempre que NO se modifique su contenido y que se respete su autoría.

**Si usted realizó algún desembolso económico** por adquirir la totalidad o partes de este documento, debe saber que habrá sido víctima de una estafa lucrativa de la cual el autor no es partícipe ni responsable. La venta de este documento, ya sea total o parcial, NO está autorizada por su autor.

El autor NO obtiene beneficio alguno por la distribución de esta obra aquí expuesta.



Modelismo Espacial.

Manual del constructor de Modelos Espaciales, Nivel de iniciación

Por: Jesús Manuel Recuenco Andrés

Se distribuye bajo una Licencia:

[Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)



“Cuando apenas tenía catorce años, solía escaparme a un antiguo vertedero de municiones de la Primera Guerra Mundial, para buscar piezas sueltas que luego empleaba en mis cohetes de fabricación casera.”

LO QUE ME HA ENSEÑADO LA VIDA

Werner Von Braun



*Este manual está dedicado en recuerdo a mi tío Pedro Recuenco, quien me introdujo en esta disciplina desde mi infancia, y al que siempre recordaré con cariño. Sobre todo por haberme dado las alas que necesitaba.*

## Índice

<b>EL MODELISMO ESPACIAL</b>	<b>Pág.</b>
Introducción.....	2
Personajes para la posteridad.....	3
<b>EL MODELO ESPACIAL</b>	
Qué es un Modelo Espacial.....	4
Partes de un modelo de cohete básico.....	4
Tipos de modelos.....	8
Etapas durante el vuelo de un modelo de cohete.....	11
El motor.....	12
<b>CONCEPTOS BÁSICOS</b>	
El Centro de Presiones (CP).....	17
El Centro de Gravedad (CG).....	17
El Margen de estabilidad.....	17
El ángulo de ataque (AOA).....	17
La fuerza de arrastre.....	18
La fuerza de sustentación o Normal.....	18
El momento de giro.....	18
El momento de inercia.....	18
El empuje.....	19
El impulso.....	19
Qué es la Estabilidad.....	19
Regla de estabilidad en un modelo de cohete.....	20
Teoría de los Momentos aplicada a los modelos de cohete.....	21
Movimiento de los cohetes en vuelo.....	21
La estabilidad durante el vuelo.....	23
Teoría de la caída libre y el descenso con paracaídas.....	26
<b>TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN</b>	
Introducción.....	28
Construcción de un modelo de cohete básico.....	29
Construcción de un modelo de cohete con carga útil.....	33
Construcción de un modelo de cohete de dos fases.....	35
Localización del Centro de Gravedad (CG).....	39
Localización del Centro de Presiones (CP).....	39
Prueba de estabilidad. Método del giro.....	40
Correcciones a la prueba de estabilidad.....	41
<b>EL LANZAMIENTO</b>	
Preliminares.....	41
Equipamiento básico.....	42
Preparación para el lanzamiento.....	42
Normas básicas de seguridad.....	45
Métodos teóricos para el cálculo de la altitud alcanzada.....	46
<b>NOCIONES AVANZADAS</b>	
Fuerzas Normales aerodinámicas.....	50
Localización del Centro de Presiones (Ecuaciones de Barrowman).....	53
Extensión a las ecuaciones de Barrowman para ángulos de ataque grandes.....	58
Cálculo de la velocidad mínima para un vuelo estable.....	61
Deformaciones de los modelos durante el vuelo.....	65
Ecuación del movimiento de los cohetes.....	66
Geometría de los paracaídas semi-hemisféricos planos.....	68
Ecuación del movimiento en el descenso con paracaídas.....	72
Construcción de un paracaídas poligonal.....	73
Construcción de un paracaídas semi-elipsoidal.....	74
Construcción de un goniómetro manual.....	76
Construcción de un anemómetro casero.....	78
Accesorios electrónicos para modelos de cohete.....	79
<b>NOTAS FINALES</b>	
Algunas recomendaciones.....	80
Bibliografía.....	82
Enlaces de interés.....	83
<b>ANEXO I</b> TABLAS, GRAFICOS Y FORMULARIOS.....	84
<b>ANEXO II</b> PLANOS DE MODELOS PARA CONSTRUIR.....	101
<b>ANEXO III</b> NORMATIVAS Y REGLAMENTOS OFICIALES.....	109
<b>INDICE ALFABÉTICO</b> .....	126

## EL MODELISMO ESPACIAL

### Introducción.

El Modelismo Espacial es una disciplina considerada por muchos como un "hobby", pero también es una actividad que está encuadrada dentro de los denominados deportes-ciencia.

El Modelismo Espacial consiste en diseñar, construir, lanzar y recuperar modelos de cohete con fines lúdicos, deportivos y/o científicos. En el aspecto deportivo, esta actividad cuenta con diferentes modalidades según reglamentos NAR (National Association of Rocketry) e internacionales de la FAI (Federación Aeronáutica Internacional). Dentro de las normas FAI, esta actividad queda encuadrada en su Código Deportivo, Sección IV, Volumen SM sobre Modelos Espaciales (ver enlace en página 83). En cualquier caso, la práctica de la cohertería ya sea amateur o especializada, queda regulada por la legislación vigente de cada país y por las normas y las disposiciones legales que estén establecidas en cada Comunidad Autónoma.

Los cohetes de una, dos y tres etapas, transportadores de carga útil, alguno de ellos fieles réplicas a escala de vehículos espaciales reales, aviones-cohete que vuelan como los de verdad, desde los más pequeños que apenas miden unos centímetros, hasta los más grandes y potentes en la modalidad de cohetes de alto nivel o HPR (High Power Rocketry) los cuales pueden medir varios metros de longitud y la recuperación con uno o varios paracaídas, con cinta serpentín, con planeo, etcétera, encienden la pasión por esta disciplina de aquellos que lo practican.

Haciendo un poco de historia, durante la década de los años setenta, y motivados por la carrera espacial y la llegada del hombre a la Luna, surgieron distintos grupos de jóvenes y entusiastas que comenzaron a practicar esta disciplina. Comenzó siendo una actividad que se desarrollaba en reuniones privadas de amigos, a partir de las cuales surgieron las agrupaciones y clubes que hoy día y de forma periódica desarrollan esta apasionante actividad, ya sea en encuentros lúdicos o en eventos deportivos en sus diversas categorías, y en las que se organizan simultáneamente exposiciones y exhibiciones de los modelos con gran afluencia de público, y que en numerosas ocasiones tienen eco en los medios informativos locales siempre con muy buena acogida, fomentando así la práctica de ésta actividad.

Desde hace ya algunos años, el creciente interés por la Astronáutica ha tenido su reflejo en el mundo del modelo reducido como una entidad propia, y en consecuencia está causando una creciente afición por este "hobby".

Nadie ignora que en España existe una gran tradición y una gran afición por la pólvora, sin embargo mientras que en otros países ésta afición está muy extendida y desarrollada, en España aún es una actividad muy poco conocida, está muy dispersa, y opera a menudo un poco a la sombra. Aunque también es cierto que en nuestro país existen algunas asociaciones y clubes muy localizados que se dedican a esta actividad, los cuales cumplen estrictamente las normas básicas en el desarrollo de ésta disciplina.

El Modelismo Espacial pone en juego otras áreas del conocimiento como son las matemáticas, la geometría, la física, la química, la electrónica, el diseño asistido por ordenador, la meteorología, la fotografía, la aeronáutica y la aerodinámica. Áreas que fomentan las destrezas manuales y las capacidades artísticas y creativas de quien lo practica, transformándolo en algo más que un simple pasatiempo.

Quien lo practica, tanto el más joven como el que no tanto, descubre y desarrolla todo su potencial personal, fomentando el compañerismo y el trabajo en equipo.

Así pues, el Modelismo Espacial se presenta como una fuente inagotable de posibilidades a desarrollar, siendo capaz de despertar la imaginación, la curiosidad y la inquietud del investigador aportando su grano de aventura al deporte, acorde con una visión vanguardista donde la última frontera es el Espacio.

Por último, señalar que España acude periódicamente a las competiciones internacionales, y que es un orgullo poder decir que estamos entre los primeros puestos en el ranking mundial.

En este manual explicamos los fundamentos y los principios básicos de la dinámica de los cohetes, procurando utilizar un lenguaje lo más sencillo que nos sea posible, para que sea comprensible por aquellos que deseen iniciarse en el Modelismo Espacial. También proporcionamos aquí las herramientas necesarias para el diseño de un modelo de cohete que vuele de forma estable y segura.

El objetivo de este manual no es sólo llegar a lo más alto, sino también llegar al corazón del niño que un día fuimos y atraer el interés por esta actividad a los que deseen empezar, ayudándoles a hacer realidad sus sueños. Espero que lo disfruten tanto como yo al escribir estas páginas.

Jesús Manuel Recuenco Andrés.

## Personajes para la posteridad.



**Robert Hutchings Goddard**, (5 Octubre 1882 – 10 Agosto 1945) Profesor y científico estadounidense, fue el primer constructor de cohetes con control de quemado de propelentes líquidos. El 16 de Marzo de 1926 lanzó el primer cohete de propelente líquido en el mundo. Entre los años 1930 y 1935 lanzó varios cohetes que alcanzaron velocidades superiores a los 885 Km/h. Con su trabajo revolucionó algunas teorías físicas de la época que le tocó vivir, lo cual originó alguna ridiculización por parte de la comunidad científica de entonces. En vida tan solo recibió un pequeño reconocimiento a su trabajo, pero tras su muerte fue declarado como uno de los padres de la cohetaría moderna. Actualmente algunas instalaciones de la NASA llevan su nombre en su honor.

**Sergéi Pávlovich Koroliov** (12 Enero 1907 – 14 Enero 1966) Este ucraniano fue ingeniero y diseñador de cohetes en los inicios de la carrera espacial de la antigua Unión Soviética allá por el año 1956. Supervisó los programas Sputnik y Vostok, llegando incluso a realizar los preparativos para poner al primer hombre en órbita. Fue figura clave en el desarrollo del programa de misiles balísticos ICBM soviético. Uno de sus logros que pasarán a los anales de la historia sería la puesta en órbita del primer satélite Sputnik en 1957. Conocido entre sus colegas como "*El diseñador Jefe*", pasó seis años prisionero en un Gulag siberiano debido a las purgas estalinistas de 1938. Se le considera el homólogo contemporáneo al también diseñador de cohetes alemán Verner Von Braun. Falleció repentinamente a los 59 años de edad debido a problemas de salud originados por su estancia en Siberia.



**Wernher Magnus Maximilian Freiherr von Braun** (23 Marzo 1912 – 16 Junio 1977) Fue ingeniero y diseñador de cohetes para el ejército alemán durante la Segunda Guerra Mundial. Diseñó, entre otros, los famosos cohetes-bomba V2. Al finalizar la guerra en 1945, fue uno de los hombres más buscados, y finalmente "capturado" por los americanos durante el reparto de Alemania. Fue llevado a Estados Unidos donde se nacionalizó como americano. Posteriormente, y bajo la atenta vigilancia de los Servicios secretos americanos, se incorporó al programa espacial Apolo de la recién fundada NASA, donde desarrolló el cohete Saturno V que llevó en

Julio de 1969 al primer hombre a la Luna. Finalmente llegó a ser Director de la Agencia Aeroespacial.

Hay muchos más personajes, pues la lista de hombres ilustres en el campo de la ciencia aeroespacial es muy extensa. Pero éstos son, a mi humilde parecer, los que más han destacado.

**EL MODELO ESPACIAL**

**Qué es un Modelo Espacial.**

*"Un Modelo Espacial es un modelo de cohete fabricado con materiales ligeros no metálicos, impulsado por un motor dotado de elementos que permiten el vuelo y su recuperación de forma segura, que obedece a los principios de la física clásica, de la aerodinámica y de la aeronáutica en el ámbito del lanzamiento de cohetes balísticos y del vuelo espacial orbital".*

**Partes de un modelo de cohete básico.**



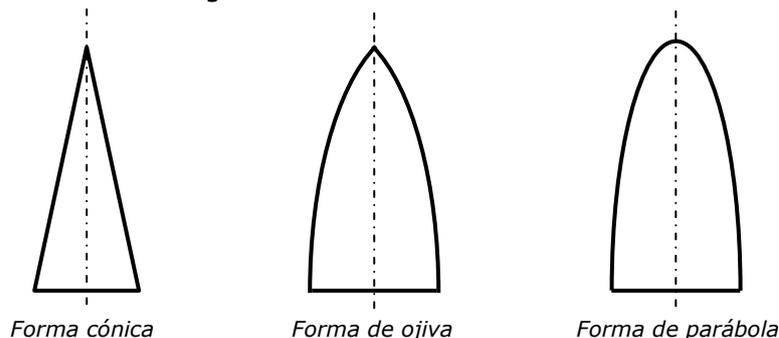
Todas y cada una de las partes de un modelo de cohete tiene su importancia y juega un determinado papel en el funcionamiento de todo el conjunto.

Podemos diseñar un modelo sencillo o enredarnos en construir uno extremadamente complicado, pero Vd. debe saber que al final todo modelo de cohete se puede reducir a las partes básicas de un cohete sencillo como el de la FIGURA 1.

Normalmente un modelo de cohete suele tener una forma alargada y aerodinámica, acorde a las especificaciones morfológicas dadas por Jim Barrowman para la aplicación de sus ecuaciones (ver página 53). Aunque también es verdad que existe una gran variedad de formas entre, cohetes, misiles, aviones y otros objetos volantes no identificados, unos más o menos aerodinámicos y llamativos que los otros, a todos se les aplica las mismas leyes físicas.

**El cono.**

El cono es la parte del modelo de cohete que "abre camino" durante el vuelo. Por este motivo, éste componente debe tener una forma lo más aerodinámica que sea posible. Sobre esta parte del modelo intervienen activamente las fuerzas aerodinámicas de arrastre que afectan al buen desarrollo del vuelo. El cono, en un modelo de cohete, puede tener diferentes formas y tamaños. Pero básicamente existen tres tipos de cono, que en función de su forma pueden ser los siguientes:



Más adelante veremos que cada una de estas formas tiene su propio coeficiente de rozamiento y su localización del Centro de Presiones (CP).

**El cuerpo.**

El cuerpo de un modelo de cohete básico, consiste en un cilindro hueco o tubo de una determinada longitud y grosor en cuyo interior se alojan el Sistema de recuperación, el Sistema contra incendios y el Soporte del motor.

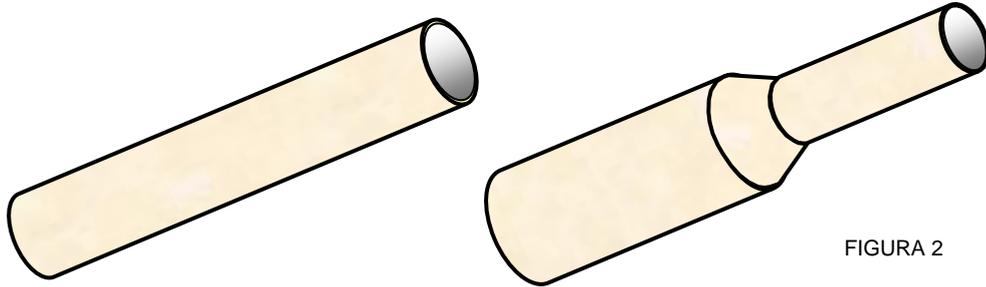


FIGURA 2

El diseño del cuerpo de un modelo de cohete puede ser muy simple (un tubo), o puede tener una o varias "transiciones cónicas" (conical shoulders) que aumentan o reducen el diámetro del cuerpo. (FIGURA 2)

**El Soporte del motor.**

Consiste en una porción de tubo en cuyo interior se introduce el propulsor o motor. Su diámetro irá en función del motor que usemos.

Este tubo a su vez se ajusta al interior del cuerpo del cohete mediante dos piezas en forma de aros, cuyo diámetro es exacto al diámetro interior del cuerpo del cohete.

Todo el conjunto puede pegarse al interior del cuerpo, quedando de esta forma *fijo* para un sólo tipo de motor, o bien puede diseñarse para ser *intercambiable* y de esta forma poder utilizar diferentes tipos de motor con el mismo modelo.

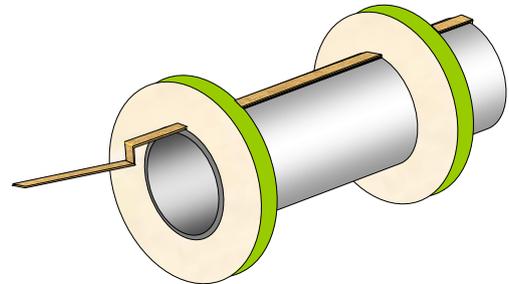


FIGURA 3

El motor finalmente queda retenido en el interior del Soporte por una varilla de material flexible. (FIGURA 3)

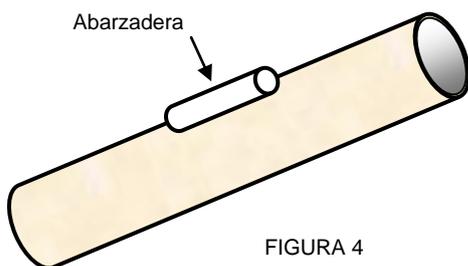


FIGURA 4

**La abrazadera.**

Consiste en un pequeño tubo rígido, de papel o plástico, adosado en el exterior del cuerpo y paralelo al eje longitudinal del modelo. (FIGURA 4)

Este pequeño tubo deberá tener unas dimensiones adecuadas para el modelo de cohete que se esté construyendo, y para la guía o rampa de lanzamiento que se utilice.

Sirve para permitir que el modelo se deslice a lo largo de la guía, y que en el momento del lanzamiento éste tome una determinada dirección de vuelo.

En otros modelos, y sobre todo en los Cohetes de Alta Potencia (HPR), en lugar de una abrazadera, incorporan un adaptador en forma de **T** para deslizarse por una guía de corredera o rampa de lanzamiento.

**El Sistema Contra-incendios.**

Si queremos que el modelo pueda realizar más de un vuelo, y garantizar una buena recuperación después de cada lanzamiento, es imprescindible que disponga en su interior de un buen sistema contra incendios.

Al finalizar un tiempo de retardo, y normalmente cuando el cohete comienza a caer, los gases producidos por la ignición de la carga de eyección harán que se expulse el Sistema de Recuperación. Estos gases finales son expulsados en su mayor parte por el interior del cuerpo del cohete a muy altas temperaturas en una fracción de segundo. En ese tiempo tan corto, estos gases calientes pueden dañar severamente tanto el interior del cuerpo del modelo así como el propio Sistema de Recuperación.

Para disponer de un Sistema contra-incendios efectivo, es suficiente con introducir en el interior del cuerpo del modelo, un algodón especial ignífugo (FIGURA 5), o en su defecto, un algodón normal impregnado en polvos de talco que debe quedar alojado entre el Soporte del motor y el Sistema de Recuperación.



FIGURA 5: Algodón ignífugo

El desgaste del interior del cuerpo se debe a las altas temperaturas de los gases de eyección del Sistema de Recuperación. Existen algunos métodos más o menos complejos para enfriar estos gases, pero una técnica probada en mis modelos consiste en pintar el interior del cuerpo con un tipo de pintura terrosa ignífuga, aunque esto puede incrementar el peso del modelo, es un medio que ayuda bastante a prolongar la vida del mismo.

**El Sistema de Recuperación.**

Todos los modelos de cohete deben tener un sistema que garantice un descenso seguro, de forma que llegue hasta el suelo sin sufrir daños. Tanto en un modelo de cohete básico de una sola fase, como en las diferentes etapas de los modelos de cohete de varias fases, y en algún momento durante su trayecto de regreso a tierra, expulsará el Sistema de Recuperación. Normalmente esta expulsión se realiza una vez haya transcurrido un tiempo de retardo con objeto de dar tiempo a que el modelo alcance su apogeo (momento de caída libre). Este retardo puede realizarse bien con la carga incorporada en el propio motor destinada a este propósito en modelos pequeños, o bien mediante un temporizador electrónico que active una carga pirotécnica instalada en el interior del cuerpo del modelo. Normalmente este último método se utiliza en la cohetaría de alta potencia (HPR).

Existen diferentes e ingeniosos Sistemas de Recuperación: Planeo, Serpentin, Girocoptero, y el más común, el Paracaídas.

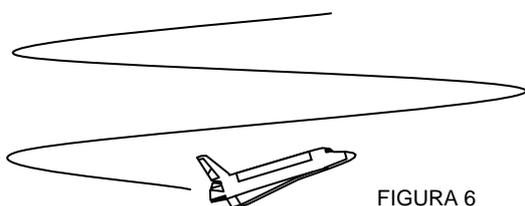


FIGURA 6

En el Sistema de Planeo, el modelo posee las mismas características de un velero o avión y desciende planeando hasta llegar al suelo. (FIGURA 6)

La FAI en su Sección IV, Clase S-4 define las características que deben reunir estos modelos para competir en la modalidad de permanencia en vuelo con planeo.

También existe otra modalidad de recuperación con planeadores RC (Radio Control). En esta modalidad predomina la pericia del piloto para aterrizar el planeador con precisión en una pista de aterrizaje.

**En Modelismo espacial está prohibido "dirigir" cohetes por Control Remoto (RC), y en general no se deben transmitir señales por radio desde tierra a un modelo, pero sí se permite recibir señales y datos en tierra. En cuanto a los planeadores RC, la única restricción que tienen es que durante el ascenso o impulso del motor-cohete, el equipo RC debe estar en modo "standby" o desconectado.**

El Sistema del Serpentín o banderola consiste en una o varias cintas amplias y bastante largas, que se despliegan para frenar la caída del modelo durante el descenso. (FIGURA 7)

Es un sistema típico en modelos muy pequeños y de poco peso.

La FAI en su Sección IV, Clase S-6 define las características que deben reunir estos modelos para competir en la modalidad de descenso con serpentín.

No es el sistema más utilizado por los modelistas, ya que no es el modo más efectivo para realizar un descenso seguro, y alguna parte del modelo puede verse comprometida.



FIGURA 7

El Girocóptero consiste básicamente en un modelo capaz de modificar su configuración o características físicas durante el descenso.

Suelen emplear algún mecanismo acoplado al cuerpo o a las aletas de forma que al finalizar el ascenso se activa el despliegue del sistema para que el modelo descienda girando sobre sí mismo como un helicóptero. (FIGURA 8)

La FAI en su Sección IV, Clase S-9 define las características que deben reunir estos modelos para competir en la modalidad de permanencia y descenso con girocóptero.

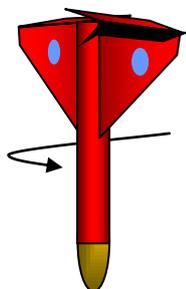


FIGURA 8

El Sistema de Recuperación por excelencia es el paracaídas. Desde los inicios de ésta actividad y en la mayoría de los modelos de cohete, el paracaídas es el sistema más utilizado por los modelistas.

El paracaídas debe tener las dimensiones y el peso adecuado para cada modelo y cada tipo de misión. Suelen confeccionarse con materiales ligeros, especialmente la seda. También pueden fabricarse con un trozo de plástico fino o un trozo de tela de nylon.

Existen diferentes tipos de paracaídas en función de su geometría y de su forma, que estudiaremos amplia y detalladamente en la sección de "Nociones avanzadas".

**Las aletas.**

Las aletas sirven para estabilizar el modelo y mantenerlo en la dirección de vuelo deseada. El número y la forma de las mismas puede ser muy variada, pero en definitiva deben ser superficies lisas que deben estar perfectamente alineadas y adosadas al exterior del cuerpo de forma que no se puedan desprender durante el vuelo o durante la fase crítica del lanzamiento.

El perfil de una aleta debe ser aerodinámica, semejante al del ala de un avión, pero con la salvedad de que, en condiciones normales de vuelo, el aire fluye por ambas caras a igual velocidad y presión.

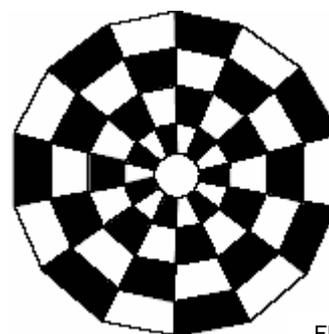
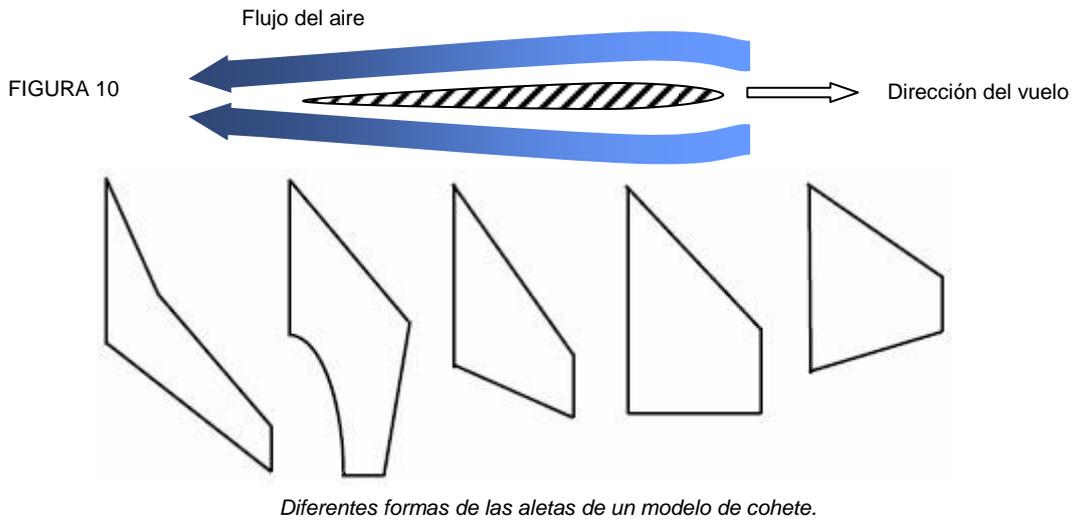


FIGURA 9

La máxima altitud que pueda alcanzar un modelo de cohete estará condicionada en gran medida por la realización de un diseño de aletas adecuado al tipo de modelo.



### Tipos de modelos.

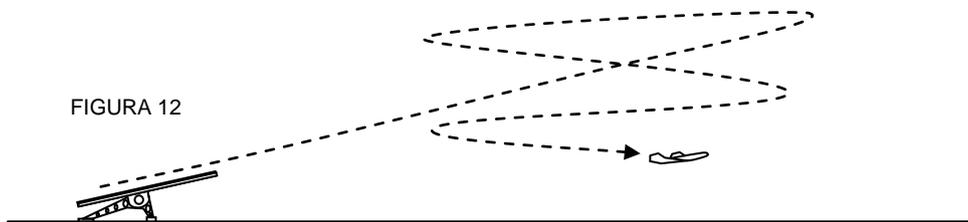
#### Los Planeadores.

Los planeadores impulsados por motores de propelente sólido son aeromodelos semejantes a pequeños veleros sobre cuya estructura van montados los motores que le proporcionan el empuje necesario durante unos segundos para realizar un despegue horizontal.

Finalmente, el modelo desciende por el Sistema de planeo.

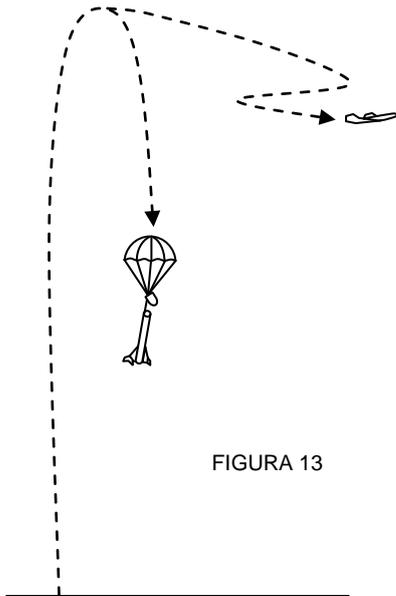
El despegue de estos modelos suele realizarse mediante una rampa casi horizontal o con muy pocos grados de inclinación. (FIGURA 12)

Este tipo de modelos no alcanzan mucha altitud ya que, por sus características físicas y aerodinámicas, ofrecen una gran resistencia al aire a altas velocidades pero también poseen una mayor sustentación en comparación con los cohetes.



#### Las Lanzaderas.

Las lanzaderas son modelos compuestos de dos partes. Por un lado está el propio cohete, que es el que proporciona el empuje necesario para alcanzar una altitud determinada, y por otro lado está la lanzadera.



Esta lanzadera tiene una configuración semejante al de un planeador y despegamos adosada al cohete. (FIGURA 14)

Ambas partes se desprenden durante el apogeo, de forma que la lanzadera desciende mediante el Sistema de planeo, mientras que el cohete desciende mediante el Sistema de recuperación con paracaídas.



**Los Cohetes.**

Existen muchas categorías de cohetes, desde modelos espaciales a escala y cohetes supersónicos, hasta misiles balísticos de alta potencia y cohetes de varias fases. Pero básicamente la configuración de estos modelos es la misma, es decir, poseen un cono, un cuerpo alargado y unas aletas.

Algunos modelos de cohete pueden disponer de una sección de carga útil para transportar objetos tales como cámaras fotográficas o vídeo, altímetros, localizadores, etc. El Sistema de recuperación común en todos los cohetes es el paracaídas.

Este manual estará dedicado principalmente al cohete en su configuración básica

**Los Girocópteros.**

Los girocópteros son ingenios que durante el ascenso se comportan como cohetes, y durante el descenso se comportan como helicópteros. Algunos de ellos tienen la particularidad de que pueden modificar su configuración, de forma que al llegar al apogeo despliegan de forma automática el Sistema de recuperación.

El girocóptero suele tener un tamaño muy pequeño y normalmente son de muy poco peso. La altitud que alcanzan estos modelos es escasa pero suficiente para realizar un descenso seguro.

Tras consumir el propelente, estos modelos suelen desprenderse del motor, activando con ello el Sistema de recuperación para descender de forma segura girando sobre sí mismos.



En el mercado existe una amplia gama de modelos prefabricados que se venden en forma de kits para construir. Los hay que van desde los más sencillos y básicos de construir hasta los más complejos para los modelistas más avanzados.

Igualmente podemos encontrar modelos a escala reducida idénticos o al menos muy semejantes a los reales, y otros con formas curiosas, los cuales pueden ser lanzados y recuperados de forma segura.

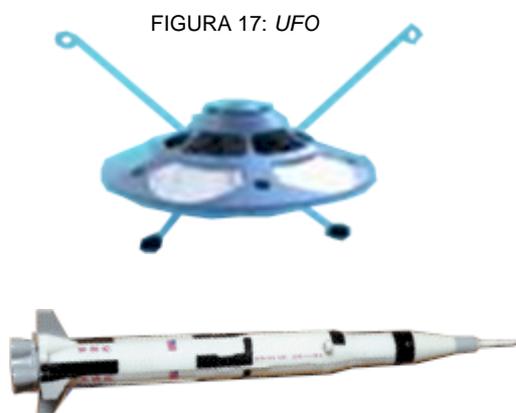


FIGURA 17: UFO

FIGURA 19: Saturn Rocket

FIGUAR 18: V2-Rocket bomb



FIGURA 20: Black Bird

Todos los "kits" de montaje que se venden en tiendas de modelismo vienen con las piezas y las partes ya prefabricadas en plástico (PVC soplado en molde), listas para pegar y pintar. Estas piezas tienen unas medidas exactas y calculadas por el fabricante. El cohete final tendrá un peso acorde para un tipo de motor concreto, y dispondrá de un paracaídas del tamaño adecuado para usar con el modelo construido. Estos cohetes tienen un acabado más llamativo que los fabricados de forma casera. Aunque todo depende de la habilidad del constructor.

El fabricante del kit le recomendará qué motor debe utilizar, garantizando así la realización de un vuelo estable y seguro. Normalmente, estos "kits" no vienen acompañados de los motores, ni de los ignitores, que tendrá que comprar aparte.

Sin embargo yo prefiero diseñar y construir mis propios modelos de cohete de forma casera, porque ello supone siempre un reto y un afán de superación para mí. No hay mayor satisfacción que ver volar un modelo fabricado enteramente por su creador, y si el vuelo es perfecto, la satisfacción es doble.

Si Vd. ha decidido construir su propio modelo e iniciarse en el mundo del Modelismo Espacial, conviene que comience con un modelo de cohete básico y sencillo. Personalmente no recomiendo que utilice materiales pesados como el cartón, el PVC, etc. ya que entonces necesitará utilizar un motor muy potente que probablemente le costará trabajo conseguir y que puede resultar excesivamente caro, además de que no logrará obtener el máximo rendimiento a la inversión realizada. Los materiales que recomiendo para construir un primer modelo de cohete sencillo y totalmente casero son: la madera de balsa, la cola blanca de carpintero, un buen pegamento de contacto, un barniz tapa poros, lijas de varios grosores, y pintura en aerosol. Todos estos materiales son bastante económicos y se pueden adquirir fácilmente en las tiendas de modelismo.

Si por el contrario ha decidido comprarse un "kit", comience por elegir del catálogo un modelo de cohete sencillo y fácil de hacer. No se arriesgue a comprar un modelo bonito, caro y vistoso que sea complicado de hacer, y que luego no vuele como esperaba que lo hiciera.

En este manual le enseñaremos cómo hacerse su propio modelo de cohete paso a paso, así que conviene que tome papel y lápiz y comience a pensar en un diseño de cohete básico y sencillo.

## Etapas durante el vuelo de un modelo de cohete.

Las diferentes etapas durante el vuelo de un modelo son las siguientes:

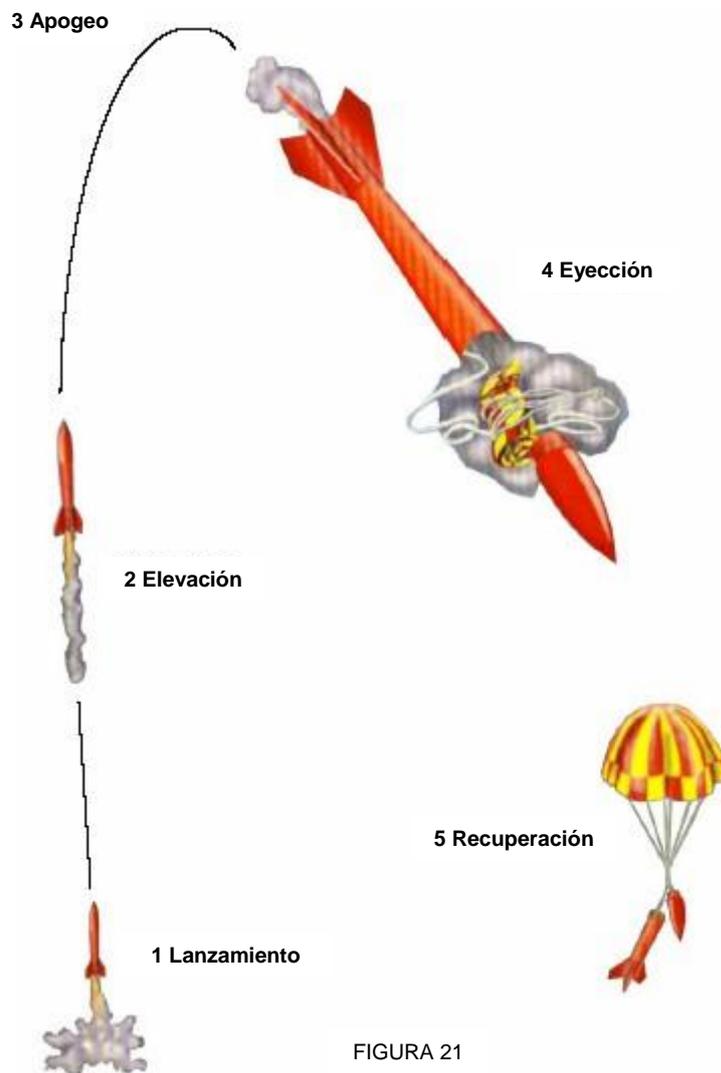


FIGURA 21

- 1ª Lanzamiento:** En el lanzamiento se produce la máxima aceleración. En este instante el modelo se desliza por la guía o rampa de lanzamiento hasta quedar en libertad. En esta fase del vuelo, el modelo tiene que soportar la presión del aire ejercida por la aceleración del motor.
- 2ª Elevación:** El motor agota su propelente y el modelo continúa ascendiendo por inercia hasta alcanzar su máxima altitud. En esta fase del vuelo el cohete va perdiendo velocidad hasta alcanzar su apogeo.
- 3ª Apogeo:** En este punto que denominamos "apogeo", el modelo tiene una velocidad nula y ha alcanzado su máxima altitud. Seguidamente comienza a caer por su propio peso describiendo un arco.
- 4ª Eyección:** Transcurrido un tiempo de retardo, se despliega el sistema de recuperación por efecto de los gases de eyección que expulsan el Sistema de recuperación.
- 5ª Recuperación:** El modelo desciende lentamente hasta llegar al suelo por medio del Sistema de Recuperación.

## El motor.

El motor es la parte más importante del modelo ya que es el encargado de proporcionar el impulso necesario para elevarlo. Existen diferentes tipos de motores para modelos espaciales, motores de propelente líquido, motores de gas o híbridos, y el motor de propelente sólido.

**Al combustible de un motor-cohete se le denomina "propergol" o más comúnmente "propelente", ya que es un tipo de combustible independiente, es decir, que no necesita del aire atmosférico para hacer funcionar el motor.**

La gama de motores crece sin parar, a medida que los "rocketeers" avanzan en su experiencia y exigencia de prestaciones, surgen en el mercado nuevos motores. Los precios de los motores de mayor potencia aumentan en progresión geométrica y ello provoca que se busquen otros sistemas alternativos de propulsión que puedan aportar alguna economía de ejercicio.

Esto dio paso, hace ya algunos años, a la aparición de los motores "híbridos" que trabajan con depósitos de gas de Oxido de Nitrógeno que actúan como oxidantes. Estos a su vez se presentan en el mercado en tres alternativas distintas. Pero este tipo de motores requiere el uso de un equipo en tierra un tanto engorroso de manejar de tanques a presión y un delicado sistema de conducciones y válvulas que van hasta el cohete, cuya construcción debe tener una estructura acorde al uso de este tipo de motores, ya que las aceleraciones que alcanzan son muy altas. Las marcas más conocidas de motores híbridos son: Hypertek, Ratt, y Aerotech en su variante RMS Hybrid.



FIGURA 22: Motores híbridos

Normalmente, los modelos de cohete no despegan de la plataforma de lanzamiento tan majestuosamente como lo hacen los cohetes reales, sino que lo hacen de forma súbita. Esto es debido a que los modelos de cohete poseen al despegar un momento de inercia mayor que los cohetes reales. Los motores que suelen utilizar estos modelos de cohete suelen ser motores "regresivos", es decir, aceleran durante pocas décimas de segundo utilizando el máximo impulso en el momento que son encendidos y reducen el impulso conforme van agotando el propelente (ver curva de empuje, pág 15). Sin embargo, los motores de los cohetes reales, y algunos tipos de motores de propelente sólido, son motores "progresivos", es decir, están especialmente diseñados para incrementar el impulso conforme van consumiendo su propelente, alcanzando el máximo impulso al final.

Los motores "progresivos" son más eficaces cuando se trata de elevar grandes cohetes con un gran peso, pero en el momento en que abandonan la plataforma de lanzamiento, estos cohetes tienen un mayor riesgo de que su vuelo se convierta en inestable (sobre todo si no consiguen acelerar lo suficiente o las condiciones atmosféricas son adversas) hasta que alcanzan la velocidad necesaria para garantizar la estabilidad del vuelo. Sin embargo los pequeños modelos de cohete que utilizan motores "regresivos", son menos pesados y adquieren la velocidad necesaria para garantizar la estabilidad del vuelo casi al instante de abandonar la plataforma de lanzamiento.

Así pues, la velocidad de despegue en el momento de abandonar la plataforma de lanzamiento es un factor importante a tener en cuenta para el vuelo estable de todos los cohetes en general.

Estudiaremos ampliamente este asunto en la sección de Nociones Avanzadas, apartado "Cálculo de la velocidad mínima para un vuelo estable" (ver página 61).

**El motor de propelente sólido.**

Entre los motores de propelente sólido están los *convencionales*, cuya marca más representativa es "Estes", y por otro lado están los motores de *composite*, cuya marca más conocida es "Aerotech", aunque hay otras marcas muy importantes como son Apogee, Quest, Cesaroni, Kosdon, etc.

Los motores de propelente sólido convencionales suelen ser de usar y tirar, es decir, son de un solo uso, por lo que **una vez gastados no deben volver a ser recargados**. Sin embargo, algunos motores composite tienen una variante recargable, que en el caso de Aerotech reciben el nombre de RMS.

El principio de funcionamiento del motor de propelente sólido es semejante al de los motores de propelente líquido con la salvedad de que éstos últimos poseen una cámara de combustión separada del propelente, mientras que la cámara de combustión en los motores de propelente sólido no existe, ya que es la propia carcasa del motor la que realiza ésta función.

En el interior del motor, los gases que son producidos por la combustión del material impulsor, ejercen una enorme presión en el interior de la carcasa. Los gases tienden a buscar una vía de escape que encuentran al pasar a través del orificio practicado con suma precisión en la tobera. Como acción a este proceso se produce la reacción justo en sentido contrario al que son expulsados los gases, lo cual se traduce por la 3ª Ley de Newton, en un desplazamiento de todo el conjunto (FIGURA 23).

**3ª Ley de Newton: "Principio de acción y reacción"**  
**Cuando un cuerpo ejerce una fuerza sobre otro (acción), éste ejerce sobre el primero una fuerza de igual magnitud y en sentido opuesto (reacción).**



El motor de propelente sólido es el más utilizado para los modelos de cohete, y consisten en un pequeño tubo (carcasa) con una tobera de grafito o cerámica perfectamente adosada a un extremo de la carcasa del motor, y en la que se ha practicado un pequeño orificio por donde son expulsados los gases a muy altas temperaturas.

El propelente sólido es un compuesto químico preparado por el fabricante, basado en el propergol sólido u otro material equivalente, proporcionan el empuje necesario para elevar el modelo según sus especificaciones. Básicamente hay dos tipos de motores de propelente sólido que se emplean habitualmente:

- Los llamados *convencionales* o de pólvora que cumplen perfectamente con las necesidades de los que se inician en el hobby. (FIGURA 24).
- Los *composite* cuyo propelente, a igualdad de cantidad o volumen, pueden duplicar o incluso triplicar la potencia total de los primeros (FIGURA 25).

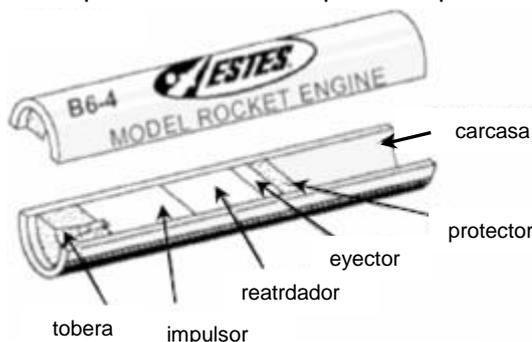


FIGURA 24: Motor convencional de pólvora

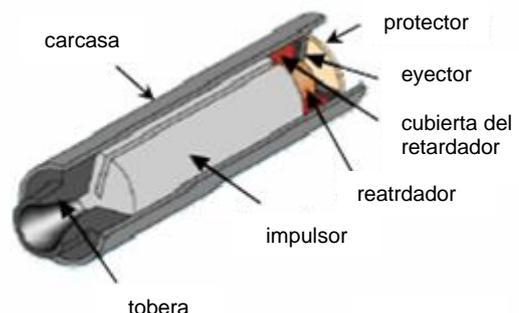


FIGURA 25: Motor de "composite"

Por su construcción y principio de funcionamiento los motores convencionales de pólvora se encienden, por contacto del ignitor con el propelente, muy cerca de la tobera (FIGURA 26), mientras que los de composite se encienden por el extremo superior del propelente, es decir, introduciéndose el ignitor hasta el fondo a través de la tobera y a lo largo de su ranura longitudinal (FIGURA 27).

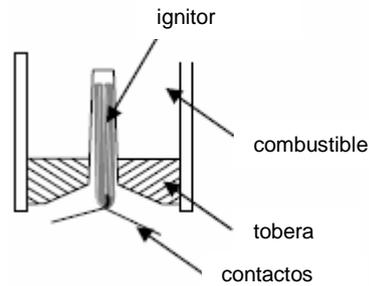


FIGURA 26: Ignitor en un motor de pólvora

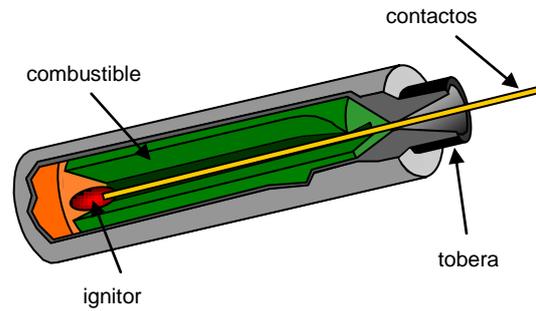


FIGURA 27: Ignitor en un motor Composite

Dado que el propelente se consume de forma continua, el tiempo que tarda en consumirse es lo que se conoce por "tiempo de quemado". Mientras que para los motores de pólvora los tiempos de quemado son similares, en los de composite pueden ser muy variables.

Es importante entender que el empezar a quemar el propelente por la parte interior más alejada de la tobera en los motores composite, tiene como finalidad mantener la máxima presión posible en el interior de la carcasa, cuya intensidad aumenta a medida que se consume el propelente. Es el mismo sistema empleado en los cohetes reales como en los SRB del Space Shuttle. Sin embargo en los motores convencionales de pólvora, ésta comienza a quemarse siempre cerca de la parte de la tobera, con lo cual este efecto de cámara a presión es siempre muy inferior al que se produce en un motor composite. Esta es la razón por la cual los motores composite desarrollan mayor capacidad de empuje que los motores convencionales de pólvora.

Una representación gráfica del modo de funcionamiento de estos motores en cada etapa del vuelo de un modelo es la siguiente:

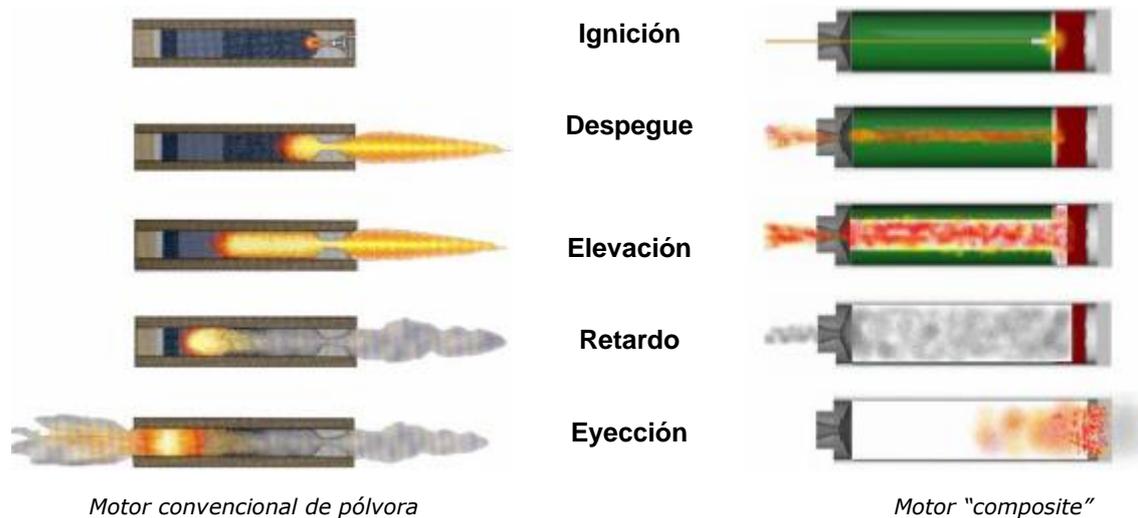


FIGURA 28: Diferentes formas de quemarse el propelente de un motor.

Existen otras formas de quemar el propelente de un motor que, dependiendo de su morfología y composición, proporcionan un tipo de empuje concreto. Así podemos encontrar motores que tienen un empuje del tipo *progresivo*, *regresivo* o *neutro*. Para saber qué tipo de empuje tiene un motor hay que observar cómo es su gráfica o curva de empuje. La elección de uno u otro tipo de empuje dependerá en gran medida del peso que queramos elevar y la altitud que queramos alcanzar, entre otros muchos factores.

**Codificación y clasificación de los motores.**

Normalmente la denominación de los motores aparece en su carcasa o en su tapón superior, así como en el envoltorio o "blister" que lo embala, como por ejemplo:

**B6-4                      F52T-M                      G33J-S                      H148R-L**

La primera letra identifica la potencia de clasificación. La cifra siguiente es el *Empuje medio*, la letra que sigue indica el tipo de propelente (opcional) y la última letra/cifra indica el retardo en segundos.

Para hacernos una idea de la noción de empuje e impulso, un Kg de empuje equivale a 9.81 Newtons. Los Kgs y los Newtons son distintas unidades de magnitud para medir la "fuerza". El Impulso es la cantidad de fuerza de empuje (Newtons) aplicada durante un tiempo (segundos):

$$I = N \cdot s$$

**Nota:** No confundir, el empuje (*thrust*) que se mide en Newtons, con el Impulso (*impulse*) que se mide en Newtons por segundo.

A partir del empuje medio y del tiempo de combustión del motor podemos deducir el Impulso total:

$$\text{Impulso total} = \text{empuje medio} \cdot \text{tiempo combustión}$$

Este es un cálculo aproximado, pero para saberlo con exactitud debemos recurrir a la curva de potencia del motor, en concreto a los datos del empuje y sobre todo a los centesimales de tiempo de quemado.

**La curva de empuje.**

Es la "radiografía" del motor que nos dice todo de él. En ordenadas el empuje, en abscisas el tiempo. En el gráfico del motor **B6-4** puede verse la potencia de punta (13,4 Newtons) que se obtiene a los 0,2 segundos de iniciado el encendido, el empuje medio (Average thrust) está en los 5,8 Newtons, y el tiempo de combustión 0,8 segundos, y a continuación el tiempo de retardo (en azul), en este caso 4 segundos (FIGURA 29).

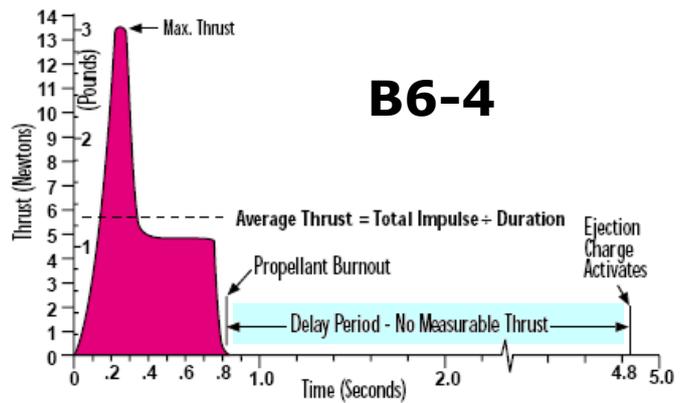


FIGURA 29: El Impulso total de este motor es:  $I = 5.8 \times 0.8 = 4.64 \text{ N}\cdot\text{s}$ .

Atendiendo al Impulso total, los motores se clasifican según las siguientes tablas:

Letra	Impulso total (Ns)
1/4 A	de 0.312 a 0.625
1/2 A	de 0.626 a 1.25
A	de 1.26 a 2.5
B	de 2.6 a 5
C	de 5.01 a 10
D	de 10.01 a 20
E	de 20.01 a 40
F	de 40.01 a 80

Letra	Impulso total (Ns)
G	de 80.01 a 160
H	de 160.01 a 320
I	de 320.01 a 640
J	de 640.01 a 1280
K	de 1280.01 a 2560
L	de 2560.01 a 5120
M	de 5120.01 a 10240
N	de 10240.01 a 20480

Atendiendo al diámetro, los tipos de motores de propelente sólido se clasifican según la siguiente tabla:

Diám. mm	Long. mm	Clase motores	Tipo
13	45	1/4 A, 1/2 A, A	BP
18	70	1/2 A, A, B, C	BP
18	70	D	COMP
24	70	C, D	BP
24	70	D, E, F	COMP
24	95	E	BP
29	variable	E, F, G, H, I	COMP
38	variable	G, H, I, J	COMP
54	variable	J, K	COMP
75	variable	K, L, M	COMP
98	variable	K, L, M, N	COMP

BP: Motor convencional de pólvora. COMP: Motor de composite.

Atendiendo al tipo de propelente, los de pólvora no tienen ninguna subdivisión establecida, sin embargo los motores de composite sí se subdividen por este concepto.

**"White lighting":**

Los motores de llama blanca son los más extendidos. Podríamos decir que tienen un tiempo de combustión medio. Se distinguen por la letra **W** final en la referencia del motor, después del impulso medio. Su empuje específico es aproximadamente 1,9 Newtons por gramo de propelente.

**"Blue Thunder":**

El trueno azul casi no produce humo, son de combustión muy rápida, superior a 2 Newtons por gramo y su llama, si podemos verla, es azulada. Podríamos decir que sueltan su potencia de golpe. Se distinguen en su nomenclatura por la letra **T**.

**"Black Jack":**

Son motores con poca llama visible, abundante humo negro, combustión lenta, alrededor de 1,3 Newtons por gramo. Se distinguen en su nomenclatura por la letra **J**.

**"Red Line":**

Son los más recientes, están a caballo entre los W y los T, su llama es muy roja y espectacular resultando visible incluso a pleno sol. Se distinguen por la letra R en su denominación. Las denominaciones citadas corresponden a la firma Aerotech. Otros fabricantes han realizado otros tipos de motores pero su distribución comercial no ha sido nunca muy extensa.

La construcción de motores caseros para cohetes entra dentro de la categoría denominada "Cohetería experimental".

En esta compleja disciplina, el modelista diseña y construye sus propios motores de propelente sólido, experimentando con diferentes compuestos químicos.

En este manual no tratamos esta disciplina, ya que es un área muy extensa y muy delicada que había que tratar en un amplio manual específicamente dedicado a esta actividad. El uso de productos químicos explosivos entraña un alto riesgo ya que pueden ocasionar graves daños a las personas si no los manipulan con el debido cuidado.



FIGURA 30: El "Científico Loco".



**SERIA ADVERTENCIA**

**Experimentar con materiales explosivos de forma casera e inexperta conlleva el riesgo de ocasionar graves accidentes, sobre todo si no se dispone de un laboratorio dotado de los instrumentos y de las medidas de seguridad necesarias para la fabricación de motores de propelente sólido, y debe realizarse siempre bajo la atenta supervisión de una persona responsable y altamente cualificada.**

**CONCEPTOS BASICOS**

**El Centro de presiones (CP). ⊙**

El Centro de Presiones (CP) es el lugar donde se concentran todas las fuerzas aerodinámicas normales que actúan sobre un modelo de cohete durante su vuelo. Es decir, es el punto donde actúa la "Fuerza Normal" resultante de todas las fuerzas de presión que ejerce el aire sobre la superficie del modelo. La ubicación de éste punto puede variar dependiendo de la forma del modelo y del ángulo de ataque (AOA).

**El Centro de gravedad (CG). ⊕**

Si el CP es el lugar donde se concentran todas las fuerzas aerodinámicas normales que actúan sobre un modelo de cohete, el Centro de gravedad (CG) es el lugar donde se concentra todo el peso del cohete. Es decir, hay tanto peso distribuido delante del CG del cohete, como detrás de él. La ubicación de éste punto varía durante el vuelo del modelo, ya que conforme el motor va consumiendo su propelente el reparto del peso en todo el modelo va cambiando. Otros nombres para el CG son: Centro de Masas, Punto de Balanceo o Punto de Giro.

**El Margen de estabilidad.**

El Margen de estabilidad en un cohete es la distancia existente entre el CP y el CG. A esta distancia también se la conoce como brazo de palanca. (FIGURA 31)

Por convenio, la distancia mínima para considerarla como Margen de estabilidad, es una separación entre el CP y el CG igual al mayor diámetro del cuerpo del cohete. A esta distancia mínima se la conoce como **calibre**.

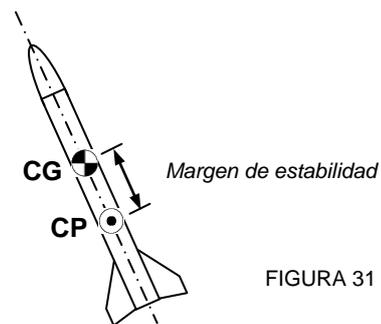


FIGURA 31

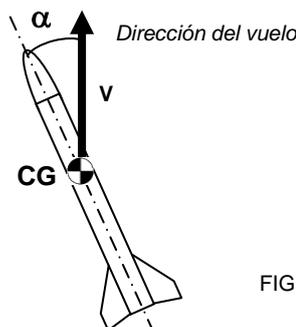


FIGURA 32

**El ángulo de ataque (AOA).**

El ángulo de ataque es el ángulo que forma el eje longitudinal del cohete respecto a la dirección de vuelo.

El ángulo de ataque se representará en adelante mediante la letra griega  $\alpha$  (FIGURA 32), y la dirección de vuelo se representa mediante el vector de velocidad del cohete  $V$  sobre el Centro de gravedad.

### La Fuerza de arrastre ( $F_D$ ).

La Fuerza de arrastre (drag) es la fuerza aerodinámica que actúa directamente sobre el Centro de presiones (CP) y en sentido contrario a la dirección de vuelo del cohete cuando éste se mueve a través del aire que lo rodea.

La intensidad de esta fuerza dependerá de la superficie de la sección transversal del cohete que se enfrente al aire. La Fuerza de arrastre actúa como un freno sobre el desplazamiento del cohete en vuelo libre. (FIGURA 33)

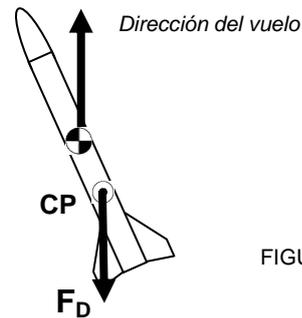


FIGURA 33

### La Fuerza de sustentación o Normal ( $F_{N\alpha}$ ).

La Fuerza normal (lift) es la fuerza que actúa directamente sobre el centro de presiones de forma perpendicular al eje longitudinal del cohete, es la resultante de todas las fuerzas aerodinámicas que actúan sobre el cohete y es la responsable de que el cohete gire o "pivote" alrededor de su centro de gravedad, generando un *Momento de giro*.

La Fuerza Normal es la que hace que el cohete *oscile* tratando de reducir el ángulo de ataque.

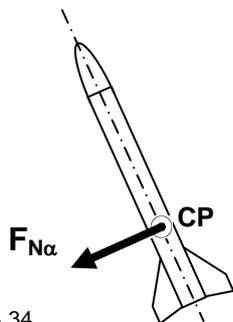


FIGURA 34

De las fórmulas sobre aerodinámica se deduce que cuanto mayor es el AOA, mayor será la magnitud de  $F_{N\alpha}$ , siendo máxima con un AOA de  $90^\circ$  y mínima o casi nula con un AOA muy próximo a  $0^\circ$ .

### El Momento de giro (M).

El Momento de giro es la tendencia que hace girar al cohete alrededor de su CG.

En un modelo de cohete, el momento de giro es el resultado de multiplicar la Fuerza Normal ( $F_{N\alpha}$ ) que actúa sobre el centro de presiones, por el brazo de palanca o *Margen de estabilidad*, en un instante determinado durante el vuelo. (FIGURA 35)

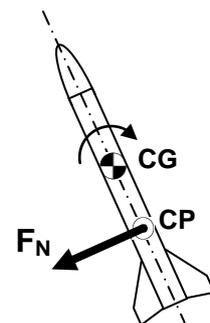


FIGURA 35

### El Momento de inercia.

En un Sistema inercial, en el que el momento lineal total se conserva, se denomina Momento de inercia a la cantidad de movimiento en un determinado instante. La cantidad de movimiento, "movimiento lineal" o "ímpetu" en un instante determinado, es una magnitud vectorial que se define como el producto de la masa del cohete por la velocidad en dicho instante.

$$\vec{p} = m \vec{v}$$

A la variación de la cantidad de movimiento también se la denomina impulso.

**El Empuje.**

El empuje (thrust) es la cantidad de fuerza necesaria para desplazar una determinada masa con una determinada aceleración. Un Newton (N) es la cantidad de fuerza necesaria para proporcionar una aceleración de 1 m/s<sup>2</sup> a 1 kg de masa.

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

Como el peso es la fuerza que ejerce la gravedad sobre un cuerpo en la superficie de un planeta, el Newton también es considerado como unidad de peso. Así pues, en la Tierra, una masa de un kilogramo tiene un empuje de unos 9,81 N.

**El Impulso.**

El Impulso (impulse) es la cantidad de fuerza aplicada en un intervalo de tiempo y se mide en Newtons por segundo (Ns).

$$I = F \cdot \Delta t$$

También, y como hemos dicho anteriormente, podemos expresar el impulso como la variación de la cantidad de movimiento.

$$I = m \cdot \Delta V$$

**Qué es la estabilidad.**

La estabilidad de un modelo de cohete en vuelo garantiza la seguridad de las personas y de sus propiedades. Para un buen modelista, la estabilidad en el vuelo de su modelo debe ser su principal preocupación. Y determinar de antemano si su modelo realizará un vuelo estable será su mayor responsabilidad.

Las estadísticas indican que un alto porcentaje de los accidentes que ocasionan daños a las personas y a sus propiedades son debidos a la irresponsabilidad del modelista. La falta de atención en la construcción de sus modelos, el escaso interés dedicado al concepto de la estabilidad, su imprudencia en el transporte y la manipulación de los motores, y su temeridad al lanzar un modelo en lugares poco despejados o inadecuados, son los factores principales que originan estos accidentes. Los accidentes ocasionados por un mal funcionamiento del motor debido a defectos de fabricación o al deterioro debido a una mala conservación son poco frecuentes, pero tampoco no menos importantes.

Así pues, y confiando en que el fabricante de los motores haya hecho bien su trabajo, será responsabilidad del modelista el conservarlos en perfecto estado de uso, seleccionar el motor más idóneo para su modelo, y asegurarse de que su modelo será estable durante el vuelo. Para tener una idea de lo que es la estabilidad y lo que significa, pondremos un ejemplo que consiste en situar una pequeña bola de goma en el seno de una superficie curva y cóncava.



FIGURA 36

Sin tener que sujetar la bola con la mano, ésta permanece en la base del seno. A esta posición de la bola la denominaremos *posición neutral inicial*, y así estará indefinidamente mientras no actuemos sobre ella. (FIGURA 36)

Ahora pongamos la bola en un lado del seno. Para mantenerla en esta posición debemos sujetarla con la mano. A esta posición de la bola la denominaremos *posición desplazada*, y mientras la sujetemos, permanecerá así indefinidamente. (FIGURA 37)



FIGURA 37



FIGURA 38

Ahora soltemos la bola. Vemos que ésta se desplaza rodando por el seno de la superficie, oscilando, hasta que finalmente se detiene en la posición neutral inicial. A esta oscilación se la denomina *oscilación positiva*. (FIGURA 38)

**"Cuando un objeto, que ha sido desplazado de su posición neutral inicial por la acción de alguna fuerza, oscila hasta encontrar otra vez su posición neutral inicial, se dice que es estable".**

Ahora intentemos colocar la bola en la cima de una superficie convexa. Difícil, ¿verdad?. Si lo lográramos, esta sería su *posición neutral inicial*. (FIGURA 39)



FIGURA 39



FIGURA 40

Busquemos una *posición desplazada* para la bola en uno de los lados de la superficie. Para ello la sujetaremos con la mano en esta posición, y así permanecerá indefinidamente hasta que la soltemos. (FIGURA 40)

Soltemos la bola desde su posición desplazada. La bola caerá rodando por la superficie y se irá botando fuera del sistema sin encontrar la posición neutral inicial. A esta oscilación la denominaremos *oscilación negativa*. (FIGURA 41)



FIGURA 41

**"Cuando un objeto, que ha sido desplazado de su posición neutral inicial por la acción de alguna fuerza, oscila sin encontrar otra vez su posición neutral inicial, se dice que es inestable".**



FIGURA 42

Finalmente, colocaremos la bola sobre una superficie lisa, plana y horizontal. En este caso encontramos que, en cualquier lugar de la superficie ésta permanecerá quieta, en posición neutral. Aún desplazándola, siempre quedará en posición neutral. (FIGURA 42)

**"Cuando un objeto, que ha sido desplazado de su posición neutral por la acción de alguna fuerza, oscila hasta encontrar otra posición neutral, se dice que tiene una estabilidad neutra".**

## Regla de estabilidad en un modelo de cohete.

**"Un modelo de cohete será estable siempre que su Centro de Presiones (CP) esté situado por detrás de su Centro de Gravedad (CG)".**

Y ¿Por qué detrás y no delante?. El cohete en vuelo libre actúa como una veleta o un péndulo en movimiento oscilatorio, en el que el punto de giro es *siempre* a través de su CG. Ahora imaginen un barco que tuviera su centro de gravedad localizado en la punta de su mástil, por encima de su centro de presiones, volcaría con toda seguridad. Para que un barco sea estable en el agua, lo normal es que su centro de gravedad esté localizado en su bodega lo más cerca de la quilla que sea posible, y por debajo de su centro de presiones, porque es sobre este punto (el CP del barco) donde parece concentrarse la presión que el agua ejerce sobre el casco. (FIGURA 43)

En un cohete pasa algo parecido pero a la inversa, es decir, el CP debe estar situado hacia la cola, mientras que el CG estará situado hacia el cono.

Así pues, lo que para el barco es la resistencia del agua, lo es la resistencia del aire para un cohete (FIGURA 44). Por eso el CG de un cohete debe estar localizado próximo al cono, es decir, delante de su CP.

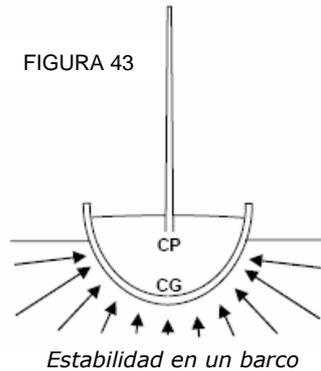
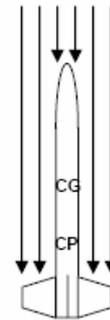


FIGURA 44



Estabilidad en un cohete

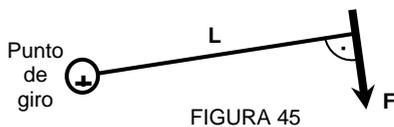
Cuanto mayor sea la distancia que separe el CP del CG, mayor será la tendencia del cohete a estabilizarse.

### Teoría de los momentos aplicada a los modelos de cohete.

La tendencia que hace girar a un cuerpo alrededor de un eje, se conoce con el nombre de *Momento*. La fórmula matemática que lo describe es la siguiente:

$$M = F \cdot L$$

- Donde:
- M = Momento de fuerza alrededor de un punto de giro.
  - F = Fuerza aplicada sobre el extremo de un brazo de palanca.
  - L = Longitud del brazo de palanca.



Conforme la fuerza **F** se hace mayor, el momento **M** y la tendencia a girar serán proporcionalmente mayores. Igualmente ocurre si la longitud del brazo de palanca aumenta, manteniendo siempre la misma fuerza. El momento **M**, y la tendencia a girar serán proporcionalmente mayores.

Haga la prueba con una puerta muy pesada. Deje la puerta entreabierta y pruebe primero a aplicar una pequeña fuerza cerca de las bisagras. Ahora pruebe a aplicar la misma fuerza sobre la puerta pero esta vez hágalo cerca de la cerradura. Habrá podido comprobar que la tendencia a girar de la puerta ha sido mayor en el segundo intento, mientras que en el primero le habrá costado más hacerla girar.

En el caso de un cohete ocurre igual, la *Fuerza Normal* (**F<sub>Nα</sub>**) actuando sobre el centro de presiones (CP) crea un **momento de giro** sobre el centro de gravedad (CG). Si el cohete es estable, este momento de giro hará que oscile positivamente en torno al CG, y en consecuencia el ángulo de ataque formado por el eje longitudinal del cohete y la dirección de vuelo, estará continuamente corrigiéndose y tomando valores muy próximos a cero, por lo que el modelo tenderá a volar en línea recta. Pero si el cohete es inestable, este momento de giro hará que el modelo oscile negativamente en torno al CG aumentando su ángulo de ataque y provocando que el modelo vuele en una dirección errática.

### Movimientos de los cohetes en vuelo.

El movimiento de los cohetes en vuelo puede clasificarse en tres tipos:

- Movimiento de traslación.
- Movimiento de giro o cabeceo.
- Movimiento de rotación.

El **movimiento de traslación** es aquel en el que el cohete se desplaza hacia un lado o hacia otro, hacia arriba o hacia abajo, pero el cohete apunta siempre en una misma dirección (FIGURA 46). Este movimiento está relacionado con la altitud que alcanzará durante el vuelo, y la causa se debe a las fuerzas que actúan sobre el CG del cohete, que son: *el peso, el empuje del motor, y la resistencia del aire.* (FIGURA 47)

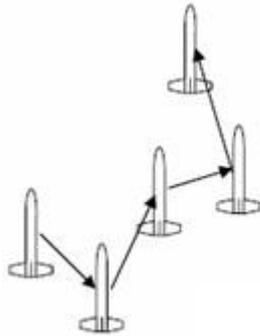


FIGURA 46: *Movimiento de traslación*

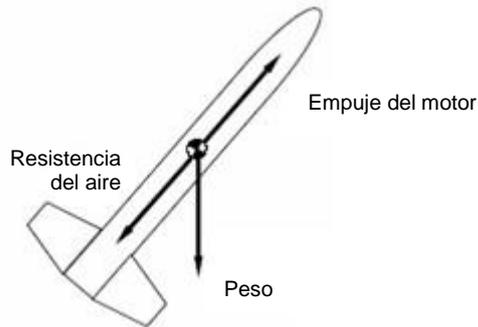


FIGURA 47: *Fuerzas relacionadas con la traslación en un cohete*

El **movimiento de giro o cabeceo** es aquél en el que el cohete gira alrededor de un eje, que será siempre su CG. En este tipo de movimiento, el cohete apunta a diferentes direcciones (FIGURA 48). Este movimiento está relacionado con la estabilidad del cohete en vuelo, y la causa se debe a las fuerzas que actúan perpendicularmente sobre el CP del cohete, que son esencialmente las de la presión del aire. (FIGURA 49)

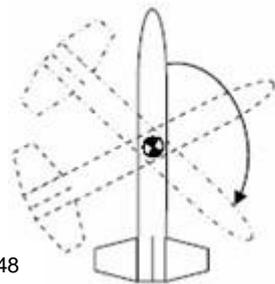


FIGURA 48

*Movimiento de giro o cabeceo*

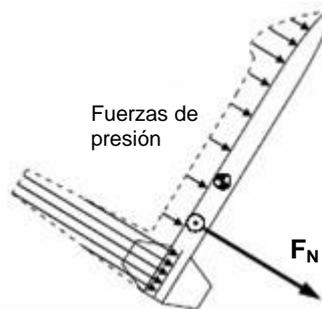


FIGURA 49

*Fuerzas relacionadas con el Giro o cabeceo de un cohete*

El **movimiento de rotación** es aquél en el que el cohete gira alrededor de su eje longitudinal. Este movimiento es debido a las fuerzas aerodinámicas que actúan sobre las aletas del cohete cuando éste se desplaza por el aire. Si las aletas no están bien orientadas o alineadas con respecto al eje longitudinal del cuerpo, pueden provocar que el cohete gire sobre sí mismo como una peonza (FIGURA 50).



FIGURA 50

*Movimiento de rotación*

Cualquier movimiento de un cohete en vuelo, es una combinación de *traslación*, de *giro* y de *rotación*, simultáneamente.

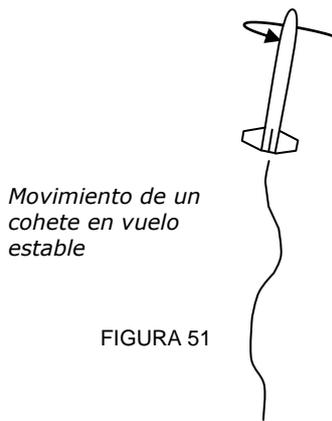


FIGURA 51

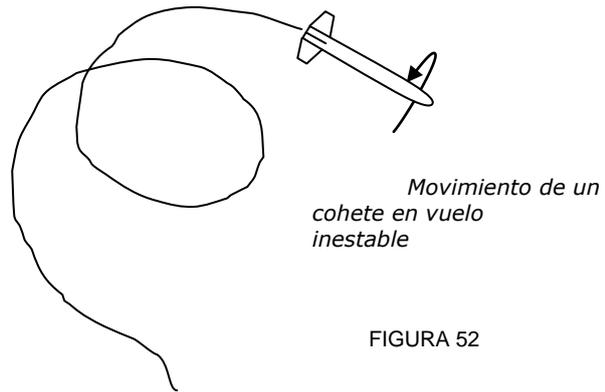


FIGURA 52

### La estabilidad durante el vuelo.

El modelista no debe conformarse sólo con que su modelo de cohete tenga un determinado *Margen de estabilidad*, sino que debe interesarse también en saber cómo se comportará durante el vuelo y si su cohete irá ganando mayor estabilidad, o por el contrario volará de forma inestable.

### Cómo afecta el viento a la trayectoria de un cohete.

Una circunstancia importante a tener en cuenta el día que vayamos a lanzar nuestro cohete, es el viento. Básicamente el viento afecta al cohete en dos aspectos: en su estabilidad y en su trayectoria de vuelo.

Como hemos dicho anteriormente, en el apartado "Motores", la etapa más crítica para un modelo de cohete es el momento de despegue. La velocidad a la que el modelo abandona la plataforma de lanzamiento, su margen de estabilidad y el viento lateral, juegan un papel muy importante a la hora de determinar de qué forma volará el cohete. Y a veces, cuando creemos que nuestro modelo cumple con las normas de estabilidad, vemos que en realidad se comporta de forma diferente, pudiendo llegar a convertirse en inestable.

Mientras el modelo permanezca en contacto con la plataforma, la propia guía o rampa de lanzamiento garantiza la estabilidad durante los primeros instantes en el ascenso del modelo.

Justo antes de abandonar la guía de la plataforma de lanzamiento, el cohete ha adquirido una velocidad ( $V_i$ ) y el ángulo de ataque es  $\alpha=0^\circ$ .

Pero el viento lateral ( $V_w$ ) en combinación con la velocidad de despegue ( $V_i$ ) genera una resultante que se denomina **viento relativo** ( $V_{rw}$ ) que es una componente más sobre el cohete que puede verse en forma de  $F_{WD}$  actuando sobre el CP del cohete. Observe que éste viento relativo forma un ángulo de ataque potencial  $\alpha'$ . (FIGURA 53)

Para aclarar un poco los términos de ángulos, considere que  $\alpha'$  será el futuro ángulo de ataque cuando el cohete termine su recorrido por la guía o rampa de lanzamiento y empiece a volar en libertad. Pero mientras que el cohete permanezca en contacto con la rampa, el ángulo de ataque real  $\alpha$  es nulo.

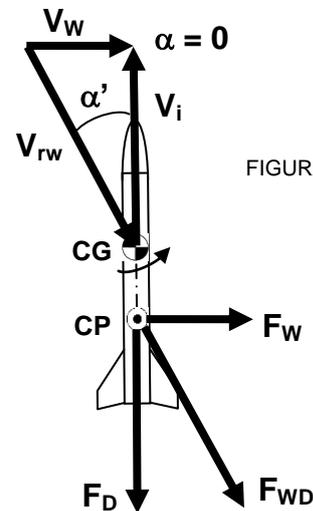


FIGURA 53

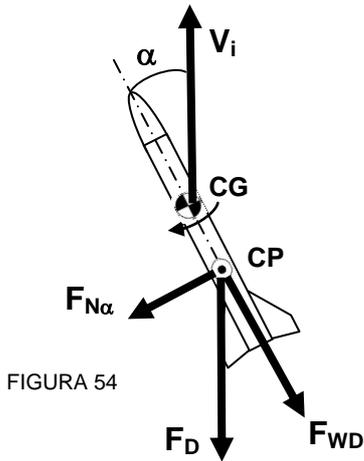


FIGURA 54

Cuando el cohete por fin abandona la rampa de lanzamiento y queda libre, la fuerza del viento relativo ( $F_{WD}$ ) genera un momento de giro, y el ángulo potencial  $\alpha'$  se convierte instantáneamente en el ángulo de ataque real  $\alpha$ .

En cuestión de unas pocas milésimas de segundo el cohete gira en dirección al viento relativo como si fuera una veleta.

Y mientras el cohete sigue ascendiendo verticalmente, las fuerzas de arrastre aerodinámicas se combinan para crear la Fuerza normal que intentará hacer que el ángulo de ataque sea igual a cero, generando un momento de giro contrario (FIGURA 54).

**Estabilidad y Desplazamiento del Centro de Presiones (CP).**

En su popular informe técnico TIR-30, Jim Barrowman reconoció que el CP en un modelo de cohete en vuelo libre tiende a "perseguir" al CG conforme el ángulo de ataque se hace más grande, y a "retroceder" conforme el ángulo de ataque se hace más pequeño.

Al principio, cuando el modelo abandona la guía o rampa de lanzamiento en un día sin viento lateral, el ángulo de ataque es muy pequeño y la  $F_{N\alpha}$  es mínima, pero conforme sigue ascendiendo, la fuerza del viento relativo ( $F_{WD}$ ) puede hacer que el ángulo de ataque aumente hasta  $90^\circ$ , donde la  $F_{N\alpha}$  será máxima. (FIGURA 55).

Para un ángulo de ataque  $\alpha=0^\circ$  el CP se localiza en un determinado lugar del cohete, conforme el ángulo de ataque aumenta, el CP se irá desplazando hacia el cono. La localización del CP más cercana al cono se encuentra en el centro del área lateral del cohete (CLA), es decir, cuando el ángulo de ataque sea  $\alpha=90^\circ$ .

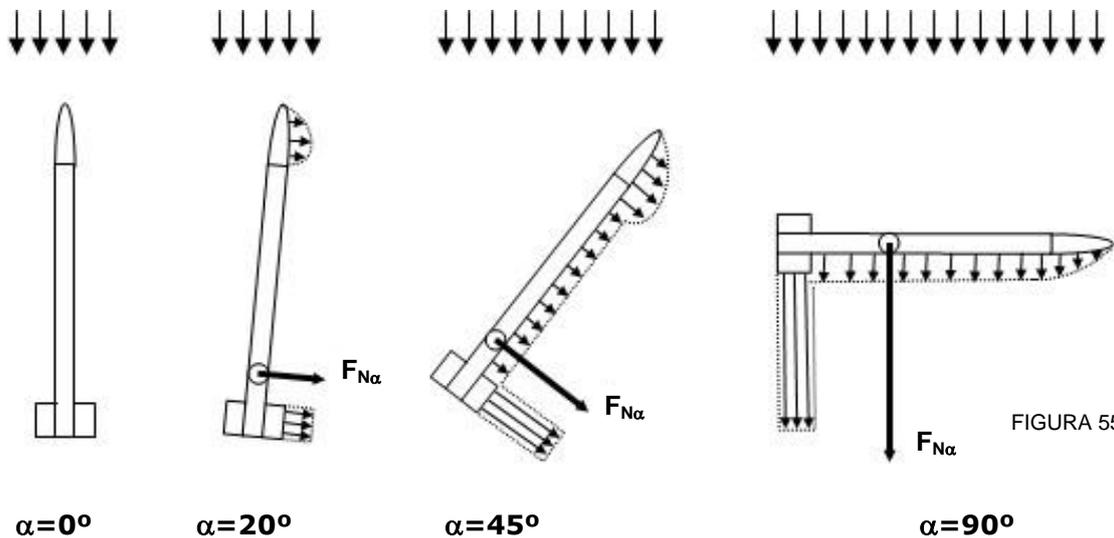


FIGURA 55

Aunque si bien es cierto que es difícil de creer que un cohete estable pueda alcanzar un ángulo de ataque próximo a los  $90^\circ$  en un día de poco viento, no podemos confiarnos a la suerte de los cambios meteorológicos repentinos, como la posible aparición de una fuerte ráfaga de viento lateral en pleno vuelo, que literalmente nos "tumble" el cohete.

Por eso debemos estar preparados de antemano y estudiar con atención los posibles comportamientos de nuestro modelo frente a estas adversidades meteorológicas.

Así pues, para un determinado ángulo de ataque, es decir, en una *posición desplazada del modelo* (ver concepto de Estabilidad en página 19), si la distancia entre el CP y el CG o *Margen de estabilidad* es suficientemente amplio, entonces el CP no llegará a rebasar al CG y el momento de giro debido a la  $F_{N\alpha}$  será siempre mayor en el lado de la cola que en el del cono, lo cual se traduce en un giro del cohete hacia un ángulo de ataque más pequeño, es decir, el modelo *oscila positivamente* (FIGURA 56).

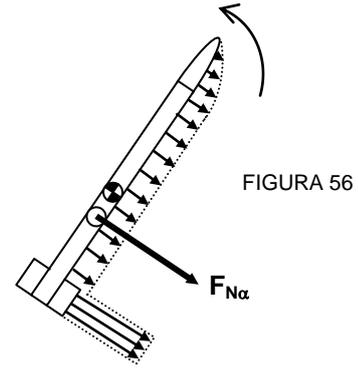


FIGURA 56

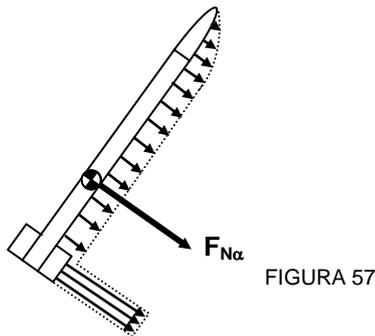


FIGURA 57

En otro caso, y dada esta *posición desplazada del modelo*, si el *Margen de estabilidad* es muy justo, el CP puede llegar a coincidir con el CG, y el momento de giro será inexistente, lo cual se traduce en un desplazamiento del cohete con una *estabilidad neutral* (FIGURA 57).

Finalmente y en el peor de los casos, si el *Margen de estabilidad* es insuficiente, en esta *posición desplazada del modelo* el CP sobrepasará al CG, y el momento de giro debido a la  $F_{N\alpha}$  será mayor en el lado del cono que en el de la cola, lo cual se traduce en un giro del modelo aumentando el ángulo de ataque en trayectoria decadente, es decir, el modelo *oscila negativamente* (FIGURA 58).

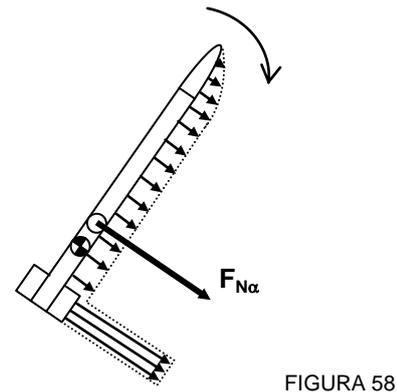


FIGURA 58

Resumiendo, en un *Sistema estable*, es decir, con suficiente *Margen de estabilidad*, suficiente velocidad de despegue y aún a pesar de tener un poco de viento lateral, el modelo de cohete oscilará siempre positivamente (FIGURA 59).

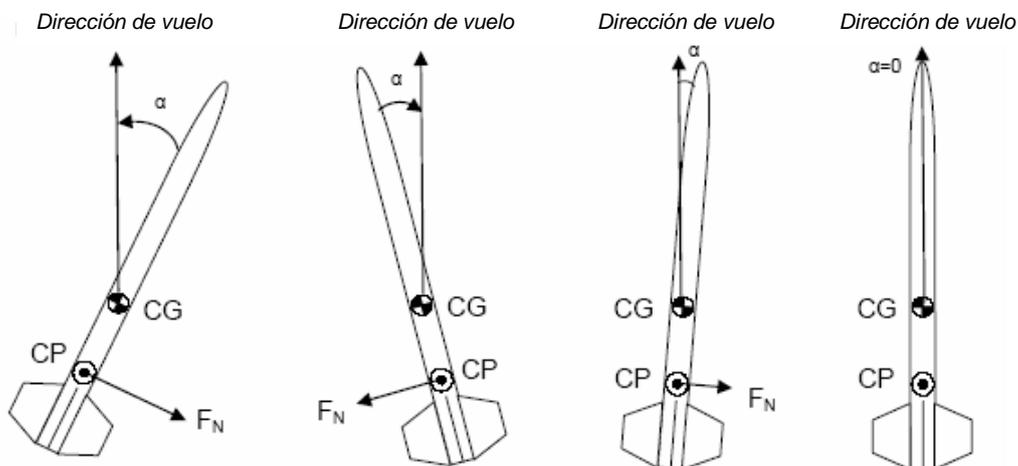


FIGURA 59: Correcciones durante el vuelo en un modelo estable. El modelo siempre oscila positivamente alrededor de su CG reduciendo progresivamente su ángulo de ataque hasta que éste es nulo, es decir, oscila positivamente hasta encontrar su posición inicial neutral.

También debemos tener en cuenta que, así como el CP puede desplazarse hacia delante, el CG a su vez también cambia de localización durante el vuelo ya que el peso del modelo varía según se va quemando el propelente del motor aumentando así la distancia entre el CP y el CG (FIGURA 60). Pero esta variación resulta siempre en favor de la estabilidad en el vuelo del cohete.

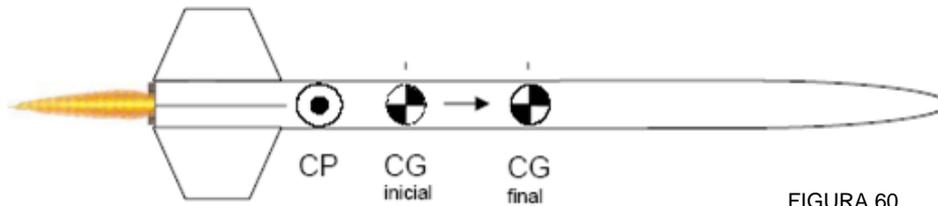


FIGURA 60

Para saber más sobre la estabilidad de un cohete, consulte el apartado "Cálculo de la velocidad mínima para un vuelo estable" en la sección de Nociones Avanzadas.

### Teoría de la caída libre y el descenso con paracaídas.

Como todos los modelistas espaciales saben, desde los inicios del Modelismo espacial, el Sistema de Recuperación predominante en un cohete es el paracaídas. Los paracaídas para modelos de cohete están disponibles en tiendas especializadas en un gran número de formas, materiales, tamaños y colores. Sin embargo, el modelista puede optar por construirse su propio paracaídas, en algunos casos para ahorrarse el coste de comprarse uno, y en la mayoría de los casos porque su proyecto requiere un tamaño de paracaídas no estándar.

Éste es el caso para la mayoría de los competidores y modelos espaciales con sección de carga útil, donde es necesario disponer de un diámetro de paracaídas particular y no estándar, ya sea para competir en tiempo de permanencia en vuelo, o bien para lograr un determinado rango de velocidad de descenso.

Pero antes de entrar a estudiar cómo de grande debe de ser nuestro paracaídas, sepamos un poco cómo funciona el descenso con paracaídas repasando algunos conceptos de la física tradicional.

#### Caída libre antes de la apertura del paracaídas.

Cuando un modelo de cohete comienza a descender desde una determinada altura suponemos que su caída es libre, el peso y el rozamiento con el aire son las únicas fuerzas que actúan sobre él. Mientras que la fuerza de rozamiento es tan pequeña que sería despreciable, la aceleración durante la caída sin embargo es constante (FIGURA 61). Las ecuaciones del movimiento son las siguientes:

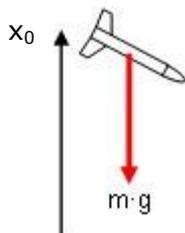


FIGURA 61

El Peso:  $F = m \cdot g$

La Aceleración:  $a = -g$

La Velocidad:  $v = -g \cdot t$

El Espacio recorrido:  $x = x_0 - (g \cdot t^2) / 2$

- Donde:
- m:** Es la masa del modelo expresada en Kg.
  - g:** Es el valor de la aceleración de la gravedad que es constante  $9,81 \text{ ms}^{-2}$
  - t:** Es el tiempo transcurrido desde que empezó a caer, expresado en segundos.
  - x<sub>0</sub>:** Es la altura inicial desde la que empezó a caer, expresada en metros.

**El descenso con paracaídas.**

Cuando se despliega el paracaídas (FIGURA 62), el modelo está sometido a la acción de su propio peso y de una fuerza de rozamiento proporcional al cuadrado de la velocidad de descenso y a la constante de proporcionalidad del paracaídas.



$$F_r = m \cdot a$$

$$m \cdot a = -m \cdot g + k \cdot v^2$$

Donde: **a**: Es la aceleración en el momento de abrirse el paracaídas.  
**v**: Es la velocidad de descenso en este instante.  
**k**: Es la constante de proporcionalidad del paracaídas.

FIGURA 62

El empuje del aire se considera despreciable ya que la densidad del aire es mucho menor que la del cuerpo. Por otra parte, recuerde que consideramos que el rozamiento del modelo con el aire es muy pequeño y por tanto despreciable.

La constante de proporcionalidad "k" es:

$$k = \frac{\rho \cdot A \cdot C_d}{2}$$

Donde: **ρ**: Es la densidad del aire. Aunque la densidad del aire varía con la altura, en los cálculos aproximados se utilizará normalmente su valor al nivel del mar que es de 1,223 kg/m<sup>3</sup>.

**A**: Es el área frontal del paracaídas expuesta al aire, expresada en m<sup>2</sup>

**C<sub>d</sub>**: Es el coeficiente de arrastre que depende de la forma del paracaídas.

En la siguiente tabla, se proporcionan los coeficientes de arrastre para varios tipos de objetos:

Forma del objeto	Valor aproximado de C <sub>d</sub>
Disco circular rígido	1.2
Hemisferio	0.8
Semi-hemisferio plano	0.75
Esfera	0.4
Avión / Planeador	0.06

Cuando el modelo en caída libre abre el paracaídas, éste reduce bruscamente su velocidad hasta alcanzar una **velocidad límite de descenso**, que será *constante* hasta que toque el suelo. Esta velocidad "límite" se obtiene cuando el peso es igual a la fuerza de rozamiento, es decir, cuando la aceleración "a" es cero.

$$-m \cdot g + k \cdot v^2 = 0$$

Así pues, despejando "v" de la expresión anterior, obtenemos que la velocidad límite de descenso es:

$$v = \sqrt{\frac{m \cdot g}{k}}$$

Una velocidad de descenso que puede considerarse segura para un modelo de cohete estará comprendida entre los 3.35 m/s y los 4.26 m/s.

Generalmente, los paracaídas pivotan violentamente debido a que el aire se desborda por los lados del pabellón. Para mejorar la estabilidad durante el descenso, simplemente se practica un agujero en el ápice del paracaídas. El área del agujero debe ser aproximadamente del 1% al 10% del área total de la superficie plana del paracaídas.

Sustituyendo "k" y despejando "A" en la expresión anterior, podemos deducir que el área mínima necesaria de un paracaídas, para una determinada velocidad de descenso deseada, en función de la masa total (peso) del modelo, y de la forma del paracaídas, viene dada por la siguiente fórmula:

$$A = \frac{2 \cdot g \cdot m}{\rho \cdot C_d \cdot v^2}$$

## TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN

### Introducción.

En las tiendas de aeromodelismo, y también por Internet, podemos encontrar kits completos de construcción de cohetes. Estos modelos vienen prefabricados en plástico soplado, poseen un acabado muy vistoso, y su montaje es bastante sencillo.

Sin embargo la emoción que se experimenta al volar un modelo de cohete es mayor cuando el modelo ha sido diseñado y construido por uno mismo. En esta sección vamos a describir, paso a paso, la forma de construir las diferentes partes de nuestro propio modelo de cohete.

Lo primero que tenemos que pensar es en ¿qué tipo de modelo vamos a construir?. Para un principiante, lo ideal sería que comenzara optando por un modelo de cohete de tipo básico, para posteriormente ir avanzando con otros modelos cada vez más complejos.

En ésta sección se detallan las técnicas más básicas para la construcción de un modelo de cohete. El modelista encontrará aquí una pequeña ayuda que le orientará paso a paso en las diferentes fases de construcción de cada una de las partes del modelo.

Así pues, empezaremos siempre por realizar el diseño del modelo en un plano. No nos debemos complicar en realizar un diseño que no se pueda volar, que no sea aerodinámico, o que sea muy difícil de construir, o lo que es peor... que no sea estable.

Los requisitos básicos que debe cumplir el material con el que se pretenda construir un modelo de cohete son:

- Ligero.
- Resistente.
- Duradero.
- Manejable.

Por este motivo, el principal material con el que vamos a trabajar en este manual será la madera de balsa, que cumple perfectamente con los requisitos anteriores. Aunque también se pueden utilizar otros materiales *no metálicos* en la construcción de alguna de

las partes del modelo como son: el papel, el cartón, y derivados del plástico, como el PVC, etc. Algunos de estos materiales no resultan ser tan manejables y ligeros como lo es la madera de balsa. Si decidimos utilizar algún derivado del plástico, tendremos que disponer de herramientas y maquinaria especializada en el fundido y soplado en moldes muy precisos. Y en el caso de utilizar materiales más pesados como el PVC, necesitaríamos disponer de motores muy potentes y excesivamente caros.

***Uno de los requisitos principales, en la construcción de un modelo de cohete, es que éste debe pesar lo menos que sea posible, para aprovechar la máxima potencia de los motores y conseguir la máxima altitud que se pueda alcanzar.***

A partir de aquí, cada modelista podrá emplear su propia técnica en la construcción de sus modelos. En esta sección veremos algunas de esas técnicas empleadas en mis propios modelos, y que no siendo la mejor, hasta la fecha siempre me han asegurado un buen resultado. No obstante, cada uno puede aportar sus propias soluciones, o experimentar con las que crea que son más eficientes. Mi objetivo es impulsar el desarrollo creativo del modelista.

Aunque en este manual se incluyen algunos planos de construcción de modelos básicos de cohete, debe ser el modelista quien desarrolle y haga uso de su propio ingenio y de sus habilidades manuales para el diseño de su modelo. No obstante, también existen programas informáticos para PC, que son muy útiles para el diseño y la simulación del vuelo de modelos de cohete, como son: "RockSim" y "Space CAD". Estos programas pueden descargarse de Internet de forma gratuita en versión "demo", es decir, para utilizar por tiempo limitado.

## **Construcción de un modelo de cohete básico.**

### ***Materiales necesarios:***

- Un trozo de papel.
- Pegamento de contacto.
- Una bolsa grande de plástico fino (p.ej. una bolsa normal de las de la basura).
- Panel de madera de balsa de 1 mm. de grosor.
- Panel de madera de balsa de 7 mm. de grosor.
- Cuerda fina de algodón o nylon.
- Cuchilla o Cutter.
- Papel de lija de diferentes grosores.
- Un cáncamo y una tira de acero o latón fino de 3x100 mm.
- 50 cm. de goma elástica de banda (de las de la costura).
- Varias gomas elásticas normales.
- Cinta adhesiva.
- Un barniz tapa poros y pintura en aerosol para aeromodelos.

Comenzamos por el Soporte del motor. Para ello, tomamos las medidas del motor que vamos a utilizar para el modelo (el largo y la circunferencia de la base), y cortamos dos trozos de plancha de madera de balsa de 1 mm. Estos trozos deben tener una longitud 1,5 cm. más corta que la longitud del motor, y deben tener una anchura un poco mayor que la longitud de la circunferencia de la base del motor.

Empapamos con agua las dos planchas y las doblamos muy despacio por el largo, alrededor de un molde cilíndrico o tubo del mismo grosor que el motor. Una vez que estén completamente enrolladas alrededor del molde, las atamos con unas gomas elásticas para que no se abran y las dejamos secar.

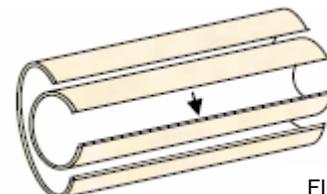


FIGURA 63

Una vez secas las dos planchas de madera de balsa, construimos un tubo con una de las planchas, de forma que el motor encaje perfectamente en su interior. Reforzaremos este tubo pegando la otra plancha alrededor de él, cortando la madera que nos sobre (FIGURA 63).

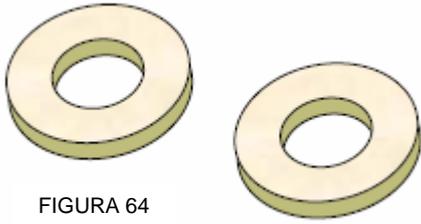


FIGURA 64

Para hacer la sujeción de éste tubo al cuerpo del modelo, cortamos dos anillos de madera de balsa de 7 mm, de forma que la circunferencia exterior tenga una longitud igual al que vaya a tener el interior del cuerpo del modelo, y que en el orificio interior encaje el tubo que hemos fabricado (FIGURA 64).

Antes de pegarlas al tubo, haremos una pequeña muesca a cada anillo en la parte interior, para que pueda pasar por ellas la horquilla o abrazadera del motor, que es una pequeña tira de latón o acero de 3x100 mm que habremos doblado en ángulo recto 5 mm por un extremo (FIGURA 65).

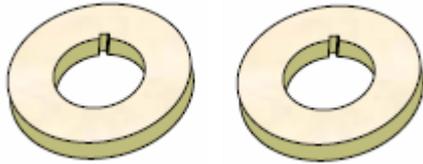


FIGURA 65

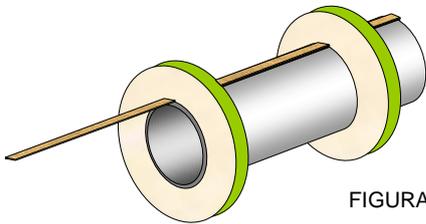


FIGURA 66

Encajamos y pegamos en el tubo, los dos anillos y la abrazadera del motor de forma que el doblez de la abrazadera quede al borde del tubo, según se muestra en la FIGURA 66.

Finalmente, probamos a introducir el motor en el interior del tubo de forma que, haciendo tope el motor en el extremo de la abrazadera, éste debe sobresalir aproximadamente 1,5 cm por el otro extremo del tubo.

Con el motor introducido, marcamos sobre la abrazadera la medida del motor. Extraemos el motor y la doblamos en forma de horquilla, según el perfil de abajo.

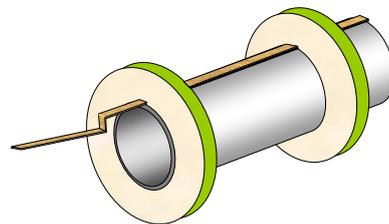
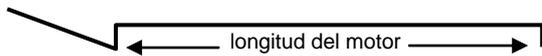


FIGURA 67

**NOTA:** Para hacer el tubo porta-motor, también podemos utilizar un tubo de cartón o plástico con un diámetro a la medida del motor que se vaya a utilizar en el modelo. Pero tenga en cuenta que estos materiales son más pesados que la madera de balsa.

Continuamos con la construcción del cuerpo. Para ello, cortamos dos planchas de madera de balsa de 1 mm con las medidas indicadas en el plano del modelo. Empapamos con agua ambas planchas y cuando estén bien ablandadas, damos forma de tubo a ambas planchas enrollándolas muy despacio en un molde tubular que tenga un diámetro aproximado al que tienen los aros del soporte para el motor. Igual que en el procedimiento anterior, las sujetamos bien con unas gomas elásticas a lo largo del tubo para que no se abran y las dejamos secar.

Una vez que estén bien secas, retiramos las gomas y el molde de las tablas. Tomamos una de las planchas y pegamos con pegamento de contacto el soporte del motor a uno de los extremos y cerramos el tubo del cuerpo alrededor de él, cortamos la madera que nos sobre y pegamos los bordes (FIGURA 68).

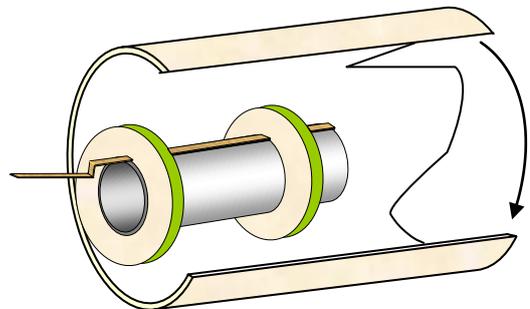
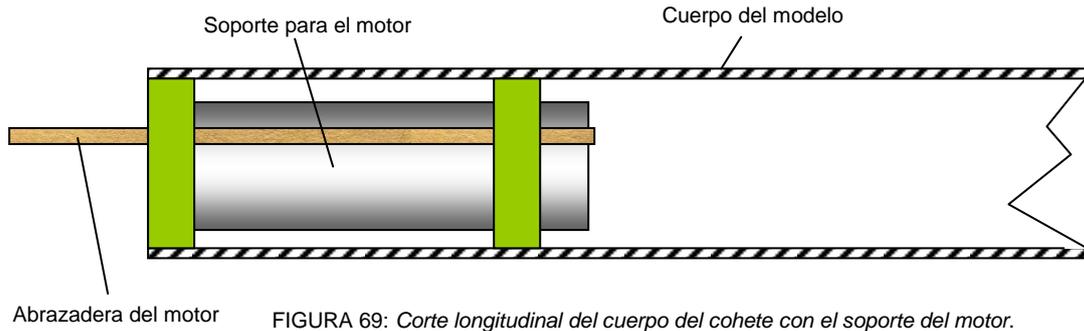


FIGURA 68



Abrazadera del motor      FIGURA 69: Corte longitudinal del cuerpo del cohete con el soporte del motor.

Una vez que esté el pegamento seco, reforzaremos el cuerpo con la otra plancha de madera, pegándola sobre el tubo y recortando la madera que nos sobre (FIGURA 70).

Finalmente, para evitar que los gases finales del motor quemen demasiado la madera en el interior del cuerpo, podemos dar una capa de pintura terrosa al interior, por ejemplo Témpera. Incrementaremos el peso del cohete, pero al menos eso ayudará a prolongar la vida del modelo.

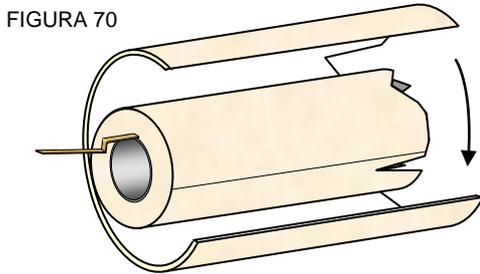


FIGURA 70

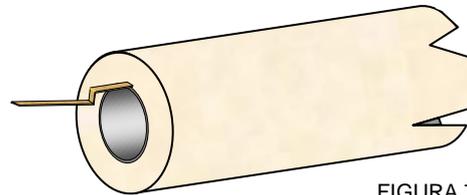


FIGURA 71

El siguiente paso será construir el cono. Para ello cortamos varias tablillas de madera de balsa de 7 mm y las pegamos unas con otras hasta formar un taco cuya base sea más amplia que el diámetro del cuerpo (FIGURA 72).

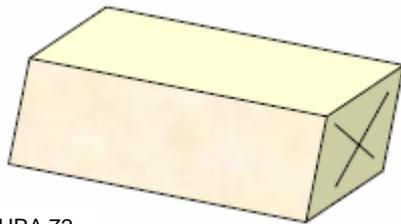


FIGURA 72



FIGURA 73

Si no disponemos de un torno, con la cuchilla o el cutter, vamos perfilando la forma del cono. Procurando que quede simétrico a su eje longitudinal y nos cuidaremos de que la base tenga el mismo diámetro que el cuerpo. Usaremos papel de lija de diferentes grosores para acabar la forma del cono (FIGURA 73).

Finalmente, realizaremos un rebaje de unos 2 cm de longitud y 2 mm de profundidad, para que el cono encaje en el interior del cuerpo sin que roce demasiado, y atornillaremos el cáncamo a la base (FIGURA 74).

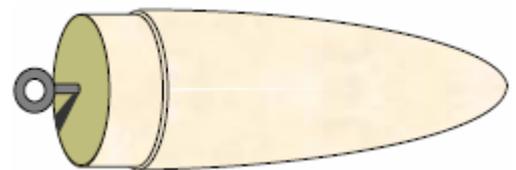
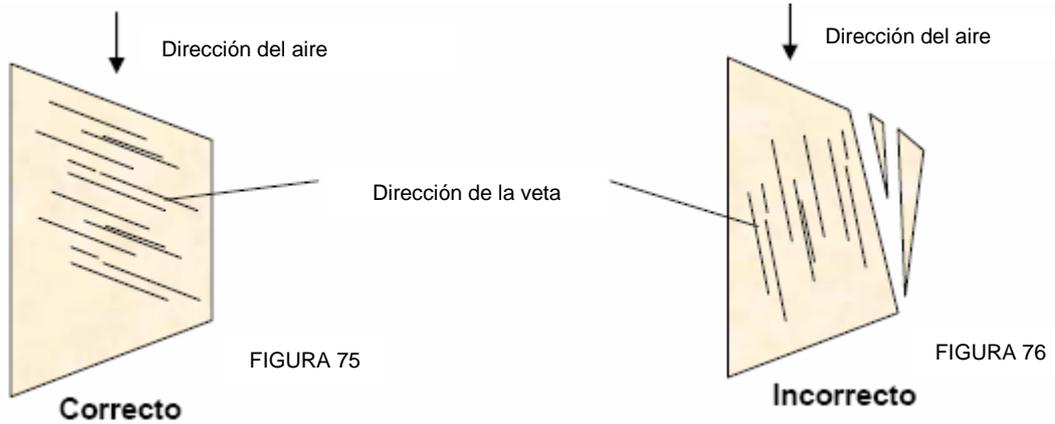
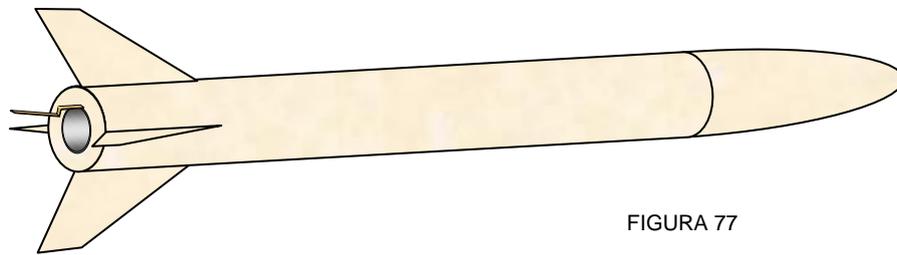


FIGURA 74

Para construir las aletas cortamos dos paneles de madera de balsa de 1 mm (por cada aleta), con las dimensiones que se indiquen en el plano del modelo. Hay que tener en cuenta que al cortar estos paneles, la veta de la madera debe quedar casi horizontal al borde de ataque de la aleta. De lo contrario pueden partirse en el momento del lanzamiento.

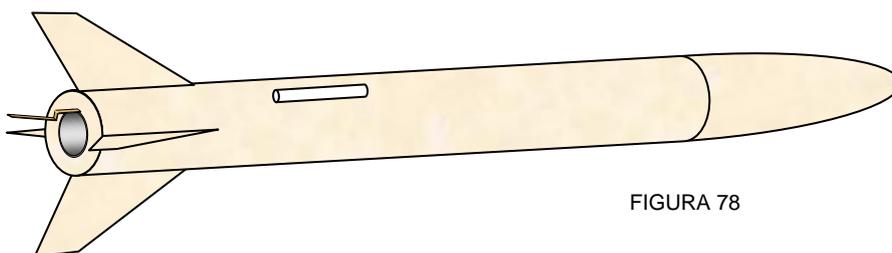


Pegamos las planchas por parejas, hasta tener todas las aletas. Afilamos con papel de lija fina los bordes exteriores de cada aleta, para darles forma aerodinámica. Acabamos pegando las aletas en la parte exterior del cuerpo, en el extremo donde está el soporte del motor.



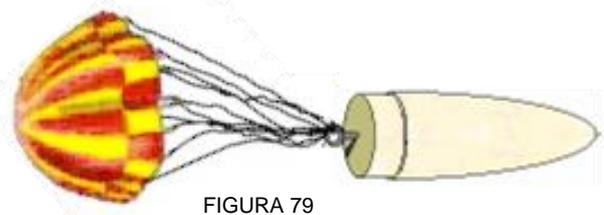
Para un ajuste perfecto de las aletas en el cuerpo, se recomienda utilizar la plantilla para aletas que encontrará en el Anexo I (ver página 95).

Haremos la abrazadera para la guía de la plataforma de lanzamiento, enrollando un pequeño trozo de papel de 30 mm de longitud para formar un tubo que se deslice suavemente por la guía. También podemos utilizar un trozo de pajita para refrescos, pero sólo si la guía que vayamos a utilizar cabe por ella. Finalmente Pegaremos la abrazadera al cuerpo en la parte exterior del cuerpo, cerca del CG, de forma que quede paralelo al eje longitudinal del cuerpo.



Para construir el Sistema de recuperación, haremos un paracaídas. Para ello, abrimos la bolsa de plástico fino y la recortamos bien en círculo, o bien en forma de polígono con una superficie acorde al peso del modelo (ver páginas 73 y 98).

Cortamos ocho hilos de 50 cm de longitud cada uno, y los fijamos por un extremo al borde del paracaídas con cinta adhesiva, de forma que queden equidistantes uno del otro en el contorno del paracaídas. Unimos los hilos por el otro extremo y los atamos fuertemente al cáncamo del cono (FIGURA 79).



Ahora tomamos la cinta de goma elástica (shock cord) y la atamos fuertemente al cáncamo del cono por uno de los extremos, y por el otro extremo, la pegamos al interior del cuerpo con un buen pegamento de contacto (FIGURA 80). Este extremo debe quedar bien pegado, a una distancia más profunda que el rebaje realizado en el cono, de lo contrario el cono no quedaría bien encajado en el cuerpo.



FIGURA 80

Para acabar el modelo, aplique dos capas de barniz tapa poros sobre todas las partes del modelo, lijando las superficies con un papel de lija fina entre capa y capa. Finalmente pintamos el modelo y lo decoramos al gusto.

### Construcción de un modelo de cohete con carga útil.

Los cohetes con Sección de carga útil entran en la categoría de los "Transportadores" o "Lanzaderas", y se distinguen de los modelos básicos por destinar una parte de su estructura especialmente diseñada y adaptada al transporte de un determinado cargamento.

Prácticamente todos los cohetes reales transportan algún tipo de carga útil como; personas, satélites, explosivos o sofisticados aparatos electrónicos de medición. Estas cargas útiles deben cumplir unas normas muy exactas y seguir unos protocolos muy estrictos para poder ser transportadas por los cohetes.



#### MUY IMPORTANTE

**En el Modelismo Espacial los modelos de cohete NO DEBEN TRANSPORTAR EXPLOSIVOS, por prohibición expresa en la Legislación vigente y Normativa FAI.**

Debe saber que toda carga transportada en un cohete debe ir asegurada en un soporte diseñado especialmente para su transporte. Dicha carga no debe desplazarse por dentro de la Sección, ni debe desprenderse durante el ascenso.

La Agencia Europea del Espacio (ESA) publica en su Web un documento de libre distribución en el cual se especifican las condiciones técnicas que deben cumplir los países fabricantes de satélites que deseen utilizar sus vehículos para ponerlos en órbita. En concreto especifica las características técnicas de los soportes de carga en sus cohetes ARIANE y VEGA.

En la Normativa de competición deportiva de la FAI, los cohetes que compiten con carga útil entran en la categoría de "Clase S-8". En esta competición, los modelos de cohete transportan un pequeño cilindro macizo de metal con un determinado peso y dimensiones, que es igual para todos los competidores. Este cargamento podrá introducirse y extraerse de la Sección de carga útil con facilidad, pero no debe desprenderse durante el vuelo y la recuperación del modelo.

Fuera de la Normativa FAI, cada modelista diseña su propia sección de carga útil para un determinado fin como; fotografía aérea, filmaciones en vídeo, experimentos biológicos, instalación de altímetros u otros aparatos electrónicos, etc. En este apartado explicaremos cómo construir una sencilla Sección de carga útil multipropósito.

**Materiales necesarios:**

- Un trozo de papel.
- Una lámina de acetato transparente.
- Pegamento de contacto.
- Una bolsa grande de plástico fino (p.ej. una bolsa normal de las de la basura).
- Panel de madera de balsa de 1 mm. de grosor.
- Panel de madera de balsa de 7 mm. de grosor.
- Cuerda fina de algodón o nylon.
- Cuchilla o Cutter.
- Papel de lija de diferente grosor.
- Un cáncamo y una tira de acero o latón fino de 3x100 mm.
- 50 cm. de goma elástica plana (de las de la costura).
- Varias gomas elásticas normales.
- Cinta adhesiva transparente.
- Un barniz tapa poros y Pintura para aeromodelos.

Construimos el Soporte para el motor, el cuerpo del modelo, las aletas y la abrazadera para la guía de lanzamiento, de la misma forma que hemos indicado en la "Construcción de un modelo de cohete básico".

El siguiente paso será construir la Sección de carga útil. Para ello cortamos una tira de acetato de unos 10 cm de ancho, pegamos el borde interior con una tira de cinta adhesiva transparente, de forma que quede un tubo del mismo diámetro que el cuerpo, y reforzamos enrollando el acetato dando tres o cuatro vueltas para hacer un tubo resistente.

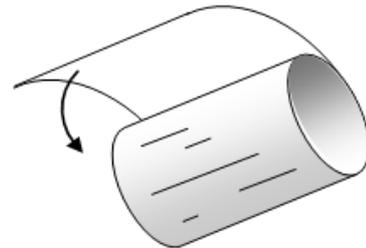


FIGURA 81

Pegamos el borde exterior del acetato para que no se abra y lo sujetamos con cinta adhesiva transparente.

Si va a transportar un altímetro, recuerde que debe practicar un orificio para que la presión atmosférica en el interior de la Sección se iguale con la del exterior.

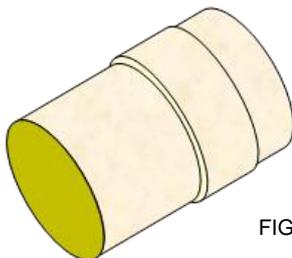


FIGURA 82

Para la base de la Sección de carga útil, cortamos cuatro círculos de madera de balsa de 7 mm. Uno que tenga el mismo diámetro que el interior de la base de la Sección de carga útil, otro círculo que tenga el mismo diámetro que el cuerpo y los dos círculos restantes que tengan el mismo diámetro que el interior del cuerpo. Pegamos entre sí los dos círculos que tienen el mismo diámetro que el interior del cuerpo, luego pegamos el círculo que tiene el mismo diámetro que el cuerpo y finalmente

pegamos el círculo que tiene el mismo diámetro que el interior de la Sección de carga útil, de forma que todos queden centrados (FIGURA 82).

Pegamos con pegamento de contacto la base que hemos construido, por el lado que tiene el mismo diámetro que el interior del tubo de la Sección de carga útil. En el otro lado de la base, atornillamos el cáncamo (FIGURA 83).

Construimos el cono con la misma técnica que se indica en la "Construcción de un modelo de cohete básico". Pero haremos el rebaje ajustado al diámetro del interior del tubo de la Sección de carga útil (FIGURA 84).

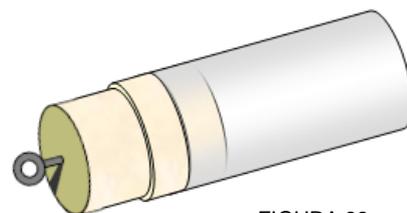


FIGURA 83

Encajamos el cono al otro extremo del tubo de la Sección de carga útil. Para fijar el cono a la Sección de carga útil, utilizaremos cinta adhesiva. De esta forma, la Sección queda fijada al cono.

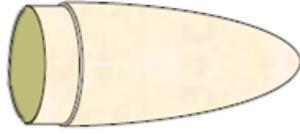


FIGURA 84

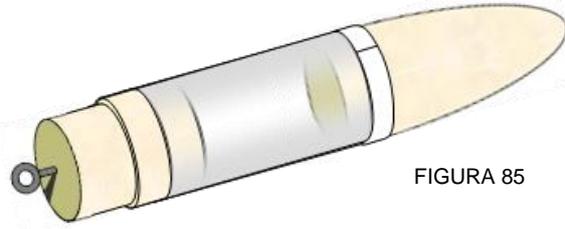


FIGURA 85

**Nota:** Cuando queramos cambiar la carga útil, simplemente retiramos la cinta adhesiva, ponemos la carga útil, y luego volvemos a fijar el cono con una cinta adhesiva nueva.

Finalmente, confeccionamos el Sistema de recuperación, de la misma forma que la descrita en la "Construcción de un modelo de cohete básico", y lo fijaremos a la Sección de carga útil, junto con la cinta de goma elástica y el cuerpo del modelo.



FIGURA 86

Recuerde que debe confeccionar el paracaídas con una superficie acorde a las condiciones dadas en los conceptos básicos sobre el descenso con paracaídas para conocer el área mínima que debe tener un paracaídas.

### Construcción de un modelo de cohete de dos fases.

Para poder vencer a la atracción de la gravedad terrestre, los cohetes orbitales deben acelerar progresivamente y ganar altitud rápidamente a una velocidad mínima de 11 Km/s, que es la velocidad de escape de la atracción terrestre. La forma más efectiva de conseguirlo es empleando varias fases, de forma que el vehículo se va desprendiendo del peso de las primeras etapas conforme agota su propelente. En los modelos de cohete de fases o por etapas secuenciales se consigue el mismo efecto, pero su objetivo no es poner en órbita ningún cargamento sino ganar en competiciones de altitud.

Consisten en modelos dotados de varias secciones de propulsión y están especialmente diseñados para alcanzar cotas superiores a los mil metros de altitud, llegando algunos a alcanzar incluso los 3000 metros.



FIGURA 87: Modelos de cohetes de varias fases.

En el momento en el que el propelente de la primera fase se consume, se enciende el propulsor de la siguiente fase, simplemente por proximidad uno con otro. El cohete se desprende de la etapa agotada y prosigue su ascenso. El proceso se repite hasta consumir la etapa final.

Las etapas intermedias que se desprenden del modelo, caen sin necesidad de disponer de un Sistema de recuperación por paracaídas, ya que éstas descienden a poca velocidad debido a la resistencia al aire que ofrece su forma y su poco peso. Sólo la etapa final desciende con un Sistema de recuperación que normalmente consiste en un paracaídas (FIGURA 88).

Se pueden construir cohetes de dos, tres y hasta cuatro fases. También en el mercado podemos encontrar modelos prefabricados (kits) de varias fases, aunque tanto la construcción como la adquisición de estos modelos de cohete puede resultar poco rentable, ya que la mayoría de ellos se pierden o son irrecuperables. Por este motivo, lo recomendable es que el modelo no posea más de dos fases. Estos cohetes utilizan, en sus etapas iniciales e intermedias motores sin retardo, especialmente diseñados para ello. Sólo la etapa final utiliza un motor con un tiempo de retardo para la eyección del sistema de recuperación. Así pues, una fase enciende a la siguiente por proximidad, sin necesidad de intercalar un ignitor entre ambas. Los gases finales del primer propulsor encienden el siguiente motor.

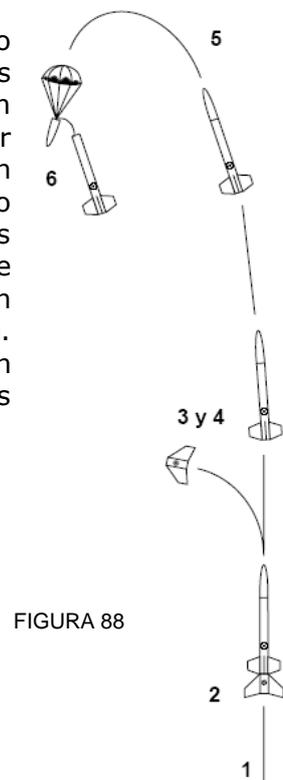
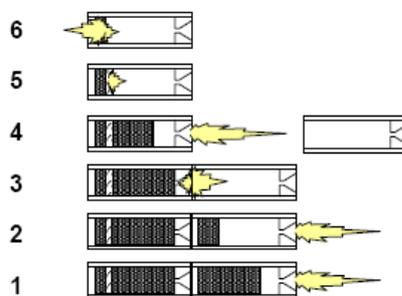


FIGURA 88

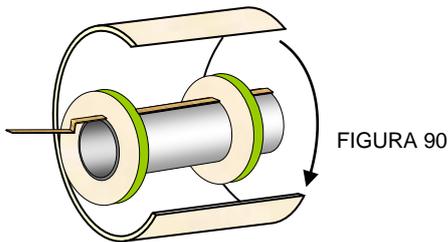
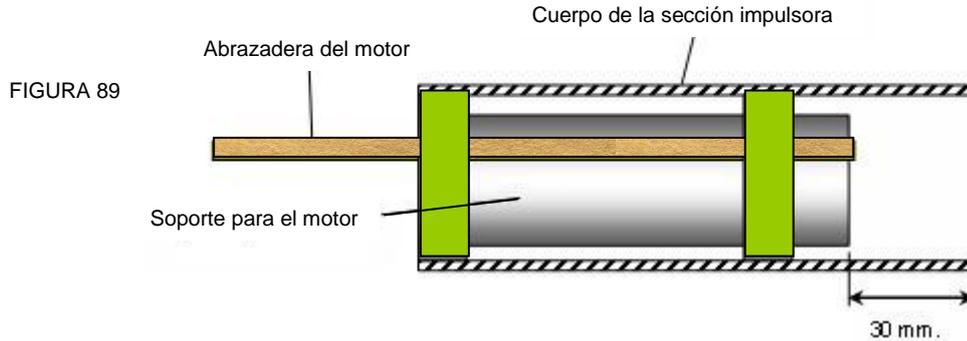
El cálculo del CG y del CP de los cohetes de varias fases se realiza de la misma forma que hemos explicado anteriormente, con la única salvedad de que tendremos que localizar tantos CGs y CPs como fases o etapas tenga el modelo, es decir, considerando cada conjunto de etapa final y etapa intermedia como un solo cohete.

**Materiales necesarios:**

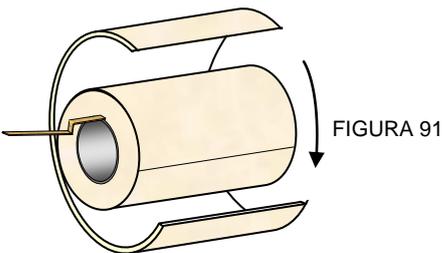
- Un trozo de papel.
- Pegamento de contacto.
- Una bolsa grande de plástico fino (p.ej. una bolsa normal de las de la basura).
- Panel de madera de balsa de 1 mm. de grosor.
- Panel de madera de balsa de 7 mm. de grosor.
- Cuerda fina de algodón o nylon.
- Cuchilla o Cutter.
- Papel de lija de diferente grosor.
- Un cáncamo y dos tiras de acero o latón fino de 3x100 mm.
- 50 cm. de goma elástica plana (de las de la costura).
- Varias gomas elásticas normales.
- Cinta adhesiva.
- Un barniz tapa poros y pintura en aerosol para aeromodelos.

Empezaremos por la construcción de la primera etapa elevadora o "booster". Para ello, construimos el Soporte para el motor, ya descrito anteriormente en la "Construcción de un modelo de cohete básico" pero restando 3 cm de longitud. Tenga en cuenta que para esta etapa utilizaremos un motor con retardo de cero segundos. Estos motores están particularmente designados para encender la siguiente etapa durante el vuelo (consultar las tablas de motores en el Anexo I).

Una vez hayamos construido el Soporte para el motor, construimos la sección impulsora con dos planchas de madera de balsa de 1 mm cuyas dimensiones sean, por un lado la longitud de la circunferencia de los anillos del Soporte para el motor, y por otro lado, la longitud del soporte para el motor pero con 3 cm más.

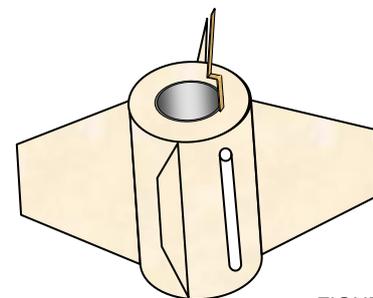


Empapamos las dos planchas de madera de balsa y las enrollamos muy despacio alrededor de un molde o tubo que tenga un diámetro igual al del Soporte para el motor. Las sujetamos bien con unas gomas elásticas a lo largo del tubo para que no se abran y las dejamos secar



Una vez que estén bien secas, retiramos las gomas y el molde de las tablas. Tomamos una de las planchas y pegamos con pegamento de contacto el soporte del motor a uno de los extremos y cerramos el tubo del cuerpo alrededor de él, cortamos la madera que nos sobre y pegamos los bordes (FIGURA 90). Reforzamos con la otra plancha de madera procediendo del mismo modo (FIGURA 91).

Construimos las aletas para esta sección, del mismo modo que hemos indicado en la "Construcción de un modelo de cohete básico", y las pegamos con pegamento de contacto al cuerpo (FIGURA 92).



Para un ajuste perfecto de las aletas en el cuerpo, se recomienda utilizar la plantilla para aletas que encontrará en el Anexo I.

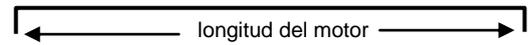
Ahora construimos otro soporte para el motor de la última fase. Para ello, seguiremos los mismos pasos que los indicados en la "Construcción de un modelo de cohete básico" para hacer el tubo que alojará el motor (recuerde que la longitud de este tubo debe ser un centímetro más corto que la del motor), y cortaremos cuatro anillos de madera de balsa de 7 mm. Todos ellos deberán tener el mismo diámetro exterior que el interior del cuerpo del modelo, y el diámetro del agujero interior de cada anillo igual al diámetro del tubo que alojará el motor. Realizamos los rebajes en el interior de los anillos para pasar la horquilla o abrazadera de sujeción del motor (FIGURA 93).



La abrazadera para el motor de la última fase, será en este caso un poco más corta que la abrazadera de la etapa impulsora, de forma que tenga la misma longitud que el motor que vayamos a utilizar, con un centímetro más. Doblabamos 5 mm. uno de los extremos (FIGURA 94).



FIGURA 94



Pegamos tres anillos entre sí, de forma que queden bien centrados. Finalmente pegamos los anillos con el tubo que alojará el motor y la abrazadera. Probamos a introducir el motor en el tubo y marcamos sobre la abrazadera el sitio por donde la doblaremos 5 mm.

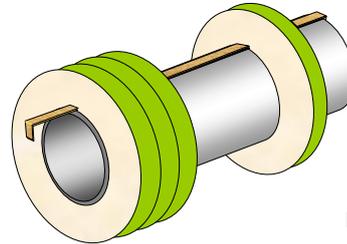


FIGURA 95

Ahora construimos el cuerpo del modelo, siguiendo los mismos pasos que los indicados en la "Construcción de un modelo de cohete básico", pero en este caso, ajustaremos y pegaremos el tubo del cuerpo a nivel del tercer anillo de sujeción.

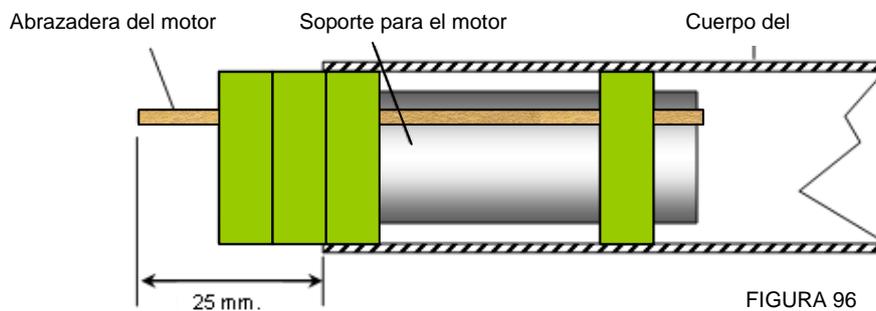


FIGURA 96

Construiremos las aletas de ésta última fase y las pegaremos al cuerpo del modelo en el extremo donde se aloja el motor, y construimos la abrazadera para la guía de la plataforma de lanzamiento haciendo un tubo con papel, de forma que se deslice suavemente por la guía. Pegamos la abrazadera para la guía en el cuerpo del modelo (FIGURA 96).

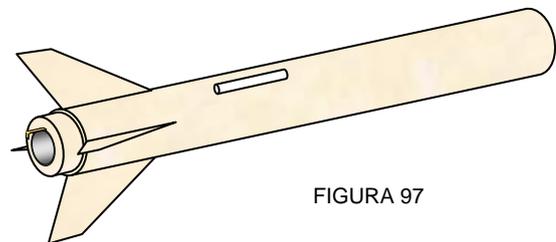


FIGURA 97

Construimos el cono de la misma forma que se indica en la "Construcción de un modelo de cohete básico" (FIGURA 98), o también como se indica en la "Construcción de un modelo de cohete con Sección de carga útil" (FIGURA 99).

FIGURA 98

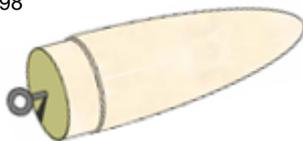
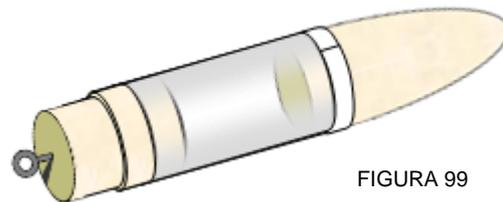


FIGURA 99



Finalmente, construimos el Sistema de recuperación que será un paracaídas. Anudamos las cuerdas del paracaídas al cáncamo del cono, y la cinta de goma elástica al cono y al interior del cuerpo del modelo. Recuerde que debe confeccionar el paracaídas con una superficie acorde a las condiciones dadas en los conceptos básicos sobre el descenso con paracaídas para conocer el área mínima que debe tener un paracaídas.

FIGURA 100: Cohete de dos fases básico

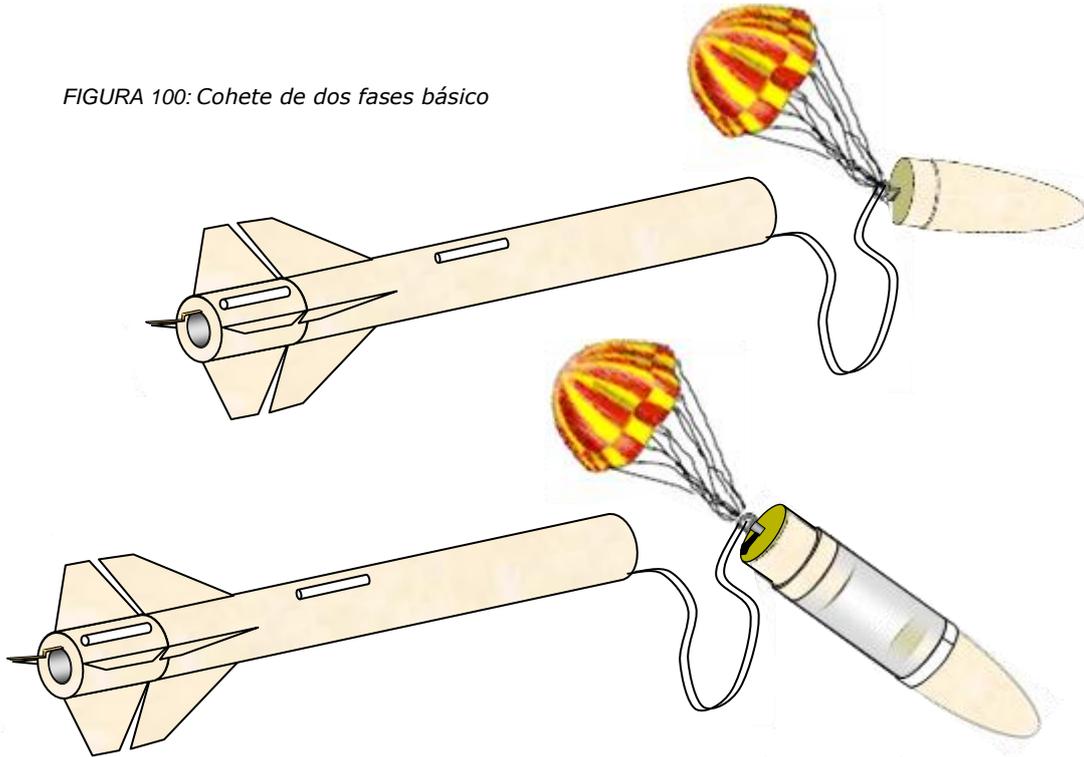


FIGURA 101: Cohete de dos fases con Sección de carga útil.

### Localización del Centro de Gravedad (CG).

Para localizar correctamente el CG de un modelo de cohete, éste debe estar dotado de todos los elementos necesarios para volar, es decir, con el motor y el paracaídas incluidos.

El método para localizar el CG de un modelo de cohete consiste en hacer una lazada con un cordel y pasar el lazo por el cono hasta situarlo en el lugar del cuerpo donde el cohete queda perfectamente nivelado (FIGURA 102).

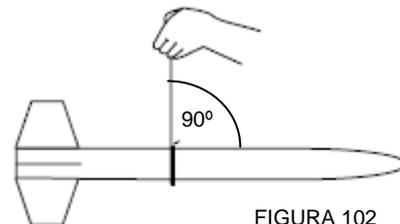


FIGURA 102

Para cada tipo de motor y paracaídas, que vayamos a utilizar en el lanzamiento de un mismo modelo de cohete, el CG tiene distinta localización en él. Así pues, cada vez que cambiemos de tipo de motor y/o paracaídas, deberemos localizar de nuevo el CG y marcarlo en el lugar que corresponda antes de su lanzamiento.

Una vez localizado el CG lo marcaremos sobre el modelo con éste símbolo:



### Localización del Centro de Presiones (CP).

La localización del CP puede realizarse de varias formas. La forma más precisa pero también más complicada de realizar consiste en someter al modelo a una serie de pruebas en un túnel de viento con objeto de determinar su *margen de estabilidad angular*. El punto donde el modelo pivote (gire en torno a un eje) formando un ángulo de 90° con respecto a la dirección del viento, será el CP.

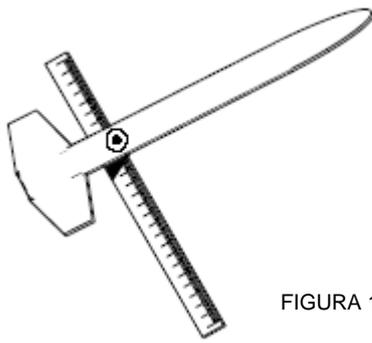


FIGURA 103

La forma menos precisa pero más sencilla de realizar es la que se conoce como el método del *Centro del Area Lateral (CLA)* o método del "Recorte en cartón". Este método estándar consiste en recortar la silueta del modelo de cohete sobre una tabla o un panel de cartón rígido. Colocamos una regla o lápiz bajo esta silueta a modo de balancín, y buscamos el punto de equilibrio de la silueta.

Suponiendo que el material que hayamos utilizado para recortar la silueta del modelo es de masa uniforme, el punto de equilibrio será el CP del Área Lateral. (FIGURA 103).

El método anterior determina la localización de un CP para el improbable caso de que el *ángulo de ataque* sea de 90°. De esta forma, si el CG queda situado por delante de este punto, se garantiza la estabilidad del vuelo, aunque el cohete sea *sobreestable* y pueda serpentear un poco en días muy ventosos.

Otro método para hallar el CP del Área Lateral, bastante más impreciso, consiste en dibujar la silueta del modelo en un papel milimetrado. Se cuentan los cuadros completos que están en el interior de la silueta del modelo y se divide la cifra resultante por la mitad. Volvemos a contar cuadros y el punto donde lleguemos a dicha mitad, será el CP.

Finalmente, el método Barrowman, que es el que normalmente utilizan los programas informáticos para calcular el CP y que se explica detalladamente en la sección de Nociones Avanzadas, calcula la localización de un CP ideal siempre que se cumplan unas determinadas condiciones (ver página 53).

Una vez localizado el CP lo marcaremos sobre el modelo con éste símbolo:



### Prueba de estabilidad, Método del giro.

El mejor método experimental, para saber si un modelo de cohete será estable o no, consiste en hacer una lazada con una cuerda larga sobre el CG del modelo ya preparado para ser lanzado, es decir, con el paracaídas y el motor incluidos. Fijamos bien esta lazada al modelo con cinta adhesiva, y comenzamos lentamente a darle vueltas sobre nuestra cabeza con cuidado de hacerlo en un sitio despejado de obstáculos, de la forma que se ilustra (FIGURA 104).

Poco a poco iremos aumentando la velocidad de giro. No se preocupe si al principio el modelo no parece querer ir en la dirección correcta. Si el modelo de cohete es estable, él solo irá oscilando sobre su CG reduciendo su ángulo de inclinación y corrigiendo su trayectoria progresivamente. Así seguiremos incrementando la velocidad de giro hasta que el modelo quede horizontal y su eje longitudinal sea paralelo a la trayectoria que describe.

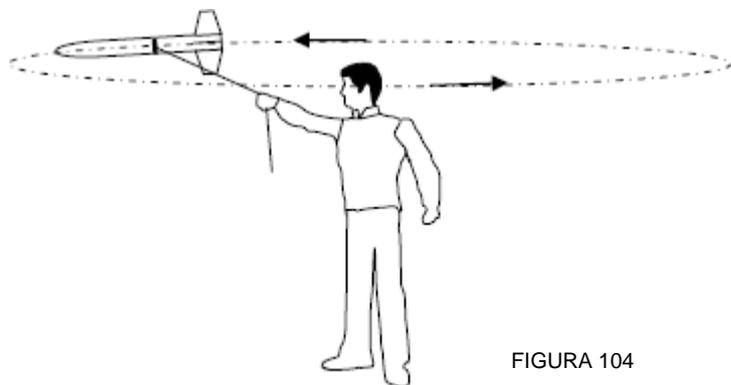


FIGURA 104

En este punto de la prueba puede ocurrir que el modelo no consiga nunca alcanzar la trayectoria horizontal paralela a su eje longitudinal, y que esté formando un

determinado ángulo de ataque en relación a la trayectoria que debería seguir. En este caso, es posible que para ese ángulo de ataque que está describiendo, el modelo no sea estable cuando vaya a ser lanzado. Aunque sí pueda serlo para ángulos de ataque más reducidos. Pero no nos arriesgaremos a tener un accidente, así que necesitaremos realizar las correcciones oportunas sobre el modelo, y volver a repetir esta prueba hasta que consigamos que el modelo vuele estable.

### Correcciones a la prueba de estabilidad.

Las correcciones a la prueba de estabilidad, en el caso de que el modelo no consiga alcanzar la trayectoria horizontal paralela a su eje longitudinal, consisten en modificar la localización del CG en el modelo, aumentando la distancia entre el CG y el CP. O bien en modificar la localización del CP cambiando la forma del modelo aumentando por ejemplo la superficie de las aletas o la longitud del cuerpo (tarea que es más difícil sobre todo cuando el modelo ya está terminado).

Para modificar la localización del CG podemos optar por varias soluciones, asiladas o combinadas unas con otras:

- 1.- Añadir un poco más de peso en el cono del modelo.
- 2.- Restar o añadir peso en el paracaídas, sustituyéndolo por otro de menor o mayor densidad y tamaño, según convenga para cada tipo de cohete.
- 3.- Restar peso en la cola, sustituyendo el motor por otro de menor peso.

Estas correcciones van en detrimento de la altitud que pueda alcanzar el modelo. Pero van a favor de su estabilidad, y en consecuencia, de la seguridad de las personas y de sus propiedades.

## EL LANZAMIENTO

### Preliminares.

Para el lanzamiento de modelos de cohete en competiciones, existe un reglamento internacional y lugares especialmente designados para realizarlos. Igualmente, en algunas Comunidades Autónomas, existen unas normas de obligado cumplimiento basadas en la legislación vigente sobre el desarrollo de esta actividad.

No obstante, siempre debemos tener muy presente que el lanzamiento debe realizarse con las máximas garantías de seguridad, tanto para nosotros mismos como para las personas ajenas y sus propiedades.

Buscaremos siempre un lugar despejado de obstáculos tales como árboles, tendidos eléctricos, edificios, etc. Asimismo, el lanzamiento debe realizarse siempre mediante una plataforma de lanzamiento, y la zona seleccionada para ello debe estar despejada de vegetación para evitar posibles incendios.

Tendremos especial cuidado en el transporte y la manipulación de los motores que se van a utilizar en el lugar del lanzamiento, y velaremos por el correcto funcionamiento de todos los equipos.



FIGURA 105: Preparando el lanzamiento.

Cada lanzamiento debe estar precedido de una cuenta regresiva, como mínimo de 5 segundos. La realización de una cuenta regresiva sirve para avisar a las personas cercanas que el lanzamiento es inminente y para que el equipo de las estaciones de seguimiento estén alerta y pendientes del vuelo.

**Equipamiento básico.**

Para realizar un buen lanzamiento, es necesario disponer de un equipo básico de personas e instrumentos.

El equipamiento básico consiste en:

- Una plataforma o banco de lanzamiento.
- Un sistema de encendido eléctrico.
- Una o varias estaciones de seguimiento.

La plataforma de lanzamiento consiste en un trípode o banco al que se le ajusta una chapa metálica o deflector, y sobre la cual se fija una guía de acero de una determinada longitud con un "tope" incorporado para la abrazadera del modelo.



FIGURA 107

El sistema de encendido eléctrico consiste en una batería de 12 v, un interruptor de encendido, y un cable de 10 m de longitud como mínimo, en cuyo extremo se sitúan los contactos para la espoleta eléctrica.

Podemos disponer de una o varias estaciones de seguimiento. La estación de seguimiento consiste en un trípode sobre el cual se monta un goniómetro giratorio con una guía para el seguimiento del modelo en vuelo.

El goniómetro básicamente es un sistema formado por un par de transportadores de ángulos: uno vertical que sirve para medir el ángulo de elevación y otro horizontal que sirve para medir el Acimut, y un visor para realizar el seguimiento del cohete en vuelo.

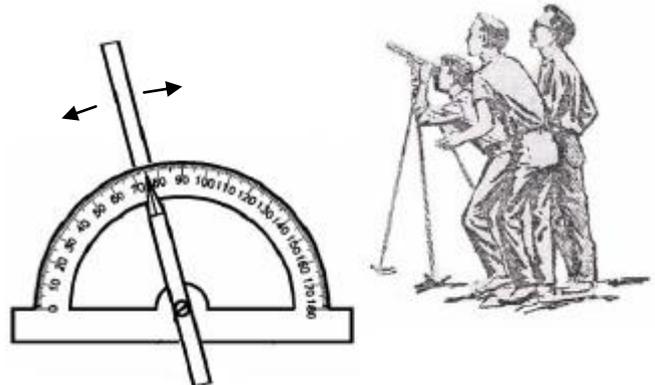


FIGURA 108

**Preparación para el lanzamiento.**

**Ubicación de la estación de seguimiento.**

Una vez que se ha ubicado la plataforma de lanzamiento, situaremos cada una de las bases de seguimiento a una distancia de la plataforma (línea de base) diferentes. Esta distancia dependerá principalmente de la altitud que vaya a alcanzar el modelo.

Sirva como referencia orientativa, la siguiente tabla de "Líneas de Base":

Altitud estimada (metros)	Línea de Base (metros)
100 - 199	80
200 - 299	150
300 - 399	200

**Preparación del modelo.**

- 1.- Introducir el motor en el soporte destinado para él.
- 2.- Introducir una buena cantidad de polvo de talco o polvo de tiza a ser posible de un color destacado, por el extremo del cuerpo del modelo donde irá alojado el paracaídas.
- 3.- Introducir un algodón ignífugo para modelos espaciales. Si no disponemos de este tipo de algodón, podemos utilizar el algodón normal impregnado en polvos de talco.
- 4.- Plegar el paracaídas de forma que entre fácilmente por la abertura del cuerpo, y que pueda desplegarse sin problemas.
- 5.- Introducir el paracaídas dejando hueco para las cuerdas y la goma de sujeción.
- 6.- Introducir la goma de sujeción poco a poco sin que se líe en el interior.
- 7.- Colocar el cono del modelo.
- 8.- Colocar el modelo en posición, pasando la abrazadera por la guía de la plataforma de lanzamiento.

Seguidamente damos algunos consejos sobre cómo realizar estas tareas.

**Forma de introducir el motor en su Soporte.**

Separar levemente la horquilla de retención o abrazadera del motor con un dedo, e introducir el motor en el Soporte hasta que haga tope (recuerde que la tobera va hacia afuera).

Finalmente soltamos la horquilla que debe regresar a su posición original para retener el motor por el lado de la tobera. (FIGURA 109)

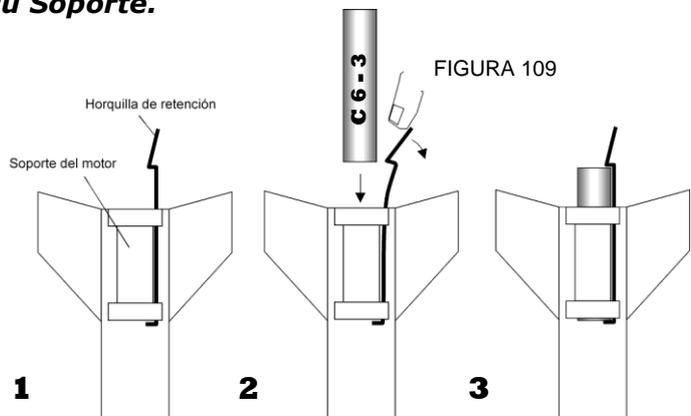


FIGURA 109

**Preparación del Sistema contra-incendios.**

Tomamos el modelo abierto en posición vertical, e introducimos una buena cantidad de polvos de talco por el extremo del cuerpo del modelo donde se coloca el cono.

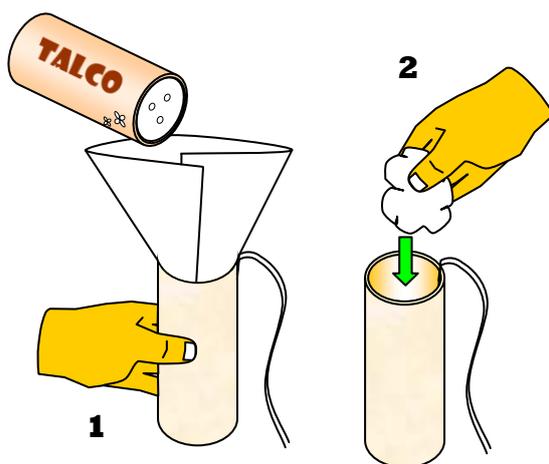


FIGURA 110

Si utilizamos un talco o una tiza de un color destacado, podrá verse con claridad en la distancia, justo en el momento de eyección del Sistema de Recuperación.

Finalmente introducimos un buen trozo de algodón ignífugo especial para modelos espaciales. (FIGURA 110)

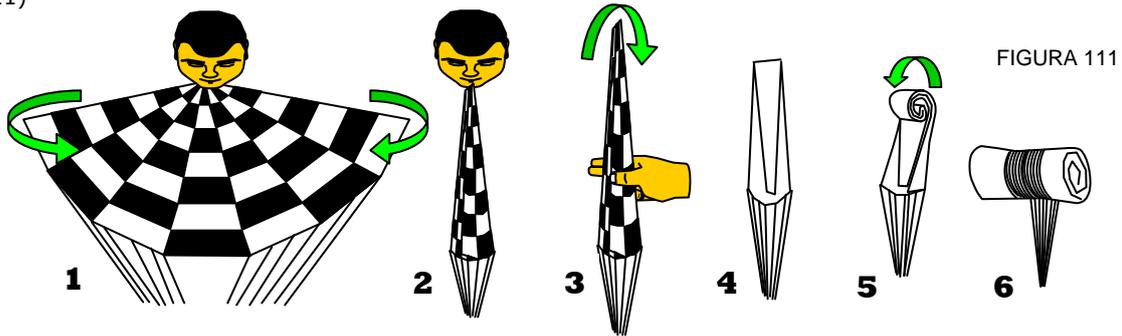
Si no disponemos de este tipo de algodón, podemos utilizar el algodón normal impregnado en abundante polvo de talco.

Procure no introducir demasiado algodón, ni demasiado talco, ya que podrían obstaculizar la eyección del Sistema de Recuperación.

**Cómo doblar el paracaídas.**

De pie en el lugar de lanzamiento, tomamos el paracaídas por el centro, por la parte externa, y lo sujetamos con firmeza entre la barbilla y el pecho. Con ambas manos vamos doblando el paracaídas por el borde de las cuerdas, primero lo doblamos por la mitad, y seguimos doblando un par de veces más. Finalmente lo doblamos por la mitad, y luego

vamos enrollando el paracaídas sobre sí mismo, incluyendo también las cuerdas. (FIGURA 111)



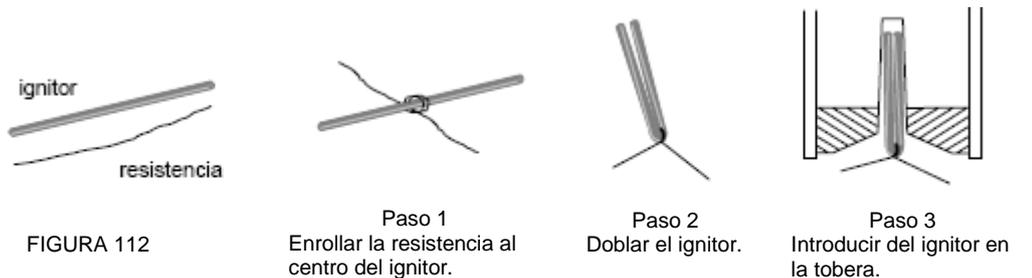
**Preparación del sistema de encendido.**

- 1.- Montar el sistema con la conexión de los cables a la batería y a la consola de lanzamiento.
- 2.- Extender el cable desde la base de lanzamiento hasta la plataforma (10 m aprox.)
- 3.- Preparar la espoleta eléctrica y cebar el motor del modelo introduciendo la espoleta por la abertura de la tobera.
- 4.- Fijar la espoleta eléctrica en la tobera del motor con un pequeño adhesivo de papel, cinta adhesiva muy fina o un mini tapón de plástico que suelen venir con los ignitores, dejando los hilos de conexión siempre hacia fuera.
- 5.- Situar el modelo en la plataforma de lanzamiento pasando su abrazadera por la guía.
- 6.- Conectar el sistema de encendido a la espoleta.
- 7.- Comprobar que se enciende la luz de continuidad eléctrica. Esto nos indicará que el ignitor no está en cortocircuito. En caso e que no haya continuidad, sustituya el ignitor por otro.

**NOTA:** En cohetes muy pequeños y con aletas muy largas, si ve que el ignitor no se mantiene en el interior del motor, y que por el peso del cable de encendido éste se cae, pruebe a apoyar el cohete sobre algún soporte de forma que el ignitor quede atrapado entre el cohete y el soporte. Este es conocido "truco" de *la piedra bajo el cohete*.

**Forma de preparar la espoleta eléctrica.**

Existen varios tipos de espoletas eléctricas ya preparadas para su montaje en los motores, y básicamente todas consisten en lo mismo, una resistencia y un material ignitor deflagrante. Estas espoletas se pueden adquirir junto con el lote de los motores o bien por separado. Un tipo de espoleta es el formado por dos piezas separadas, una barra ignitora moldeable y una resistencia.



Otras espoletas más modernas son las formadas por el ignitor y la resistencia en una sola pieza en forma de tira de cobre de doble cara, son los famosos "Copperhead".



**Conexiones con el Sistema de encendido.**

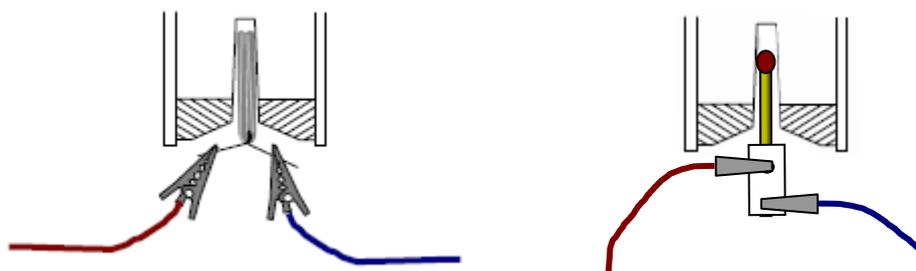


FIGURA 114: Tipos de conexiones simples.

Si el modelo dispone en su fase inicial de más de un motor o "cluster" de motores, la forma de conectar las espoletas eléctricas para encender varios motores a la vez consiste en disponer las conexiones en paralelo (FIGURA 115).

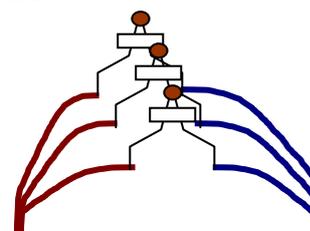


FIGURA 115: Conexiones múltiples en paralelo.



**MUY IMPORTANTE**

**Antes de conectar el sistema de encendido a la espoleta, asegúrese de que el sistema de encendido no está activado, es decir, que no exista corriente eléctrica.**

**Normas básicas de Seguridad.**

Conviene seguir las siguientes normas básicas de seguridad:

- NO TRANSPORTE LOS MODELOS CARGADOS CON LOS MOTORES.
- ALMACENE LOS MOTORES POR SEPARADO, EN GRUPOS DE DOS O TRES MÁXIMO, Y CONSERVELO EN LUGARES SECOS Y NO EXPUESTOS AL CALOR.
- PROCURE DISPONER CERCA DEL LUGAR DE LANZAMIENTO, LOS MEDIOS NECESARIOS PARA UNA EXTINCIÓN EN CASO DE FUEGO.
- EN CASO DE FALLO EN EL ENCENDIDO DEL MOTOR, CORTE LA CORRIENTE ELÉCTRICA DEL SISTEMA DE ENCENDIDO, Y ESPERE UNOS MINUTOS ANTES DE REVISAR EL ESTADO DEL IGNITOR.
- SI EL MOTOR ES DEFECTUOSO, INUTILÍCELO SUMERGIÉNDOLO EN AGUA HASTA QUE SE ABLANDE DEL TODO.
- EN CASO DE QUEMADURA POR ACCIDENTE, VENDAR LA HERIDA Y ACUDIR A UN CENTRO DE URGENCIA INMEDIATAMENTE. NO APLIQUE AGUA SOBRE LA HERIDA, NI INTENTE QUITAR LOS RESIDUOS PEGADOS A LA PIEL.
- LANCE SUS MODELOS EN LUGARES AMPLIOS Y DESPEJADOS DE OBSTÁCULOS Y VEGETACIÓN.
- AVISE A TODOS LOS PRESENTES QUE SE VA A REALIZAR UN LANZAMIENTO INMINENTE, Y MANTENGA UN PERÍMETRO DE SEGURIDAD ALREDEDOR DEL LUGAR DE LANZAMIENTO COMO MÍNIMO DE 10 METROS.
- CON VIENTO SUAVE, ORIENTE LA GUIA DE LA PLATAFORMA DE LANZAMIENTO, INCLINÁNDOLA UNOS GRADOS EN DIRECCIÓN CONTRA EL VIENTO.
- NUNCA REALICE LANZAMIENTOS EN DÍAS CON MUCHO VIENTO O MALAS CONDICIONES METEOROLÓGICAS.
- REALICE SIEMPRE UNA CUENTA REGRESIVA DE CINCO SEGUNDOS ANTES DE LANZAR EL MODELO.
- NO CONECTE LA ESPOLETA AL SISTEMA ELÉCTRICO HASTA EL MOMENTO PRÓXIMO AL LANZAMIENTO, Y ASEGÚRESE DE QUE LOS CONECTORES DEL SISTEMA ELÉCTRICO NO TIENEN CORRIENTE ELECTRICA CUANDO LOS ACOPLA A LA ESPOLETA.

**Nota:** Si está participando en algún evento deportivo, siga estrictamente las normas y las indicaciones que le indique el RSO (Controlador Responsable del área de lanzamiento).

### Métodos teóricos para el cálculo de la altitud alcanzada.

Para realizar un seguimiento en altura del vuelo de un modelo espacial, podemos hacer uso de equipos electrónicos sofisticados como aparatos de radar o altímetros electrónicos que podríamos montar en un modelo. Pero a falta de estos equipos, también existen otros métodos menos costosos para calcular, con mayor o menor exactitud, la altitud alcanzada por un modelo espacial.

En este documento vamos a exponer dos métodos básicos para el cálculo de la altitud, que irán en orden de menor a mayor dificultad y exactitud.

#### El Método gráfico.

Necesitamos conocer los siguientes datos:

- La longitud (**b**) de la Línea de Base, es decir, la distancia entre la estación de seguimiento y la plataforma de lanzamiento.
- El ángulo (**α**) de elevación obtenido por el seguimiento del modelo en el momento en el que éste haya alcanzado su punto de apogeo.

Dibujamos sobre una hoja milimetrada un triángulo recto a escala, cuya base es **b** (a escala) y sobre la cual transportamos el ángulo obtenido **α**.

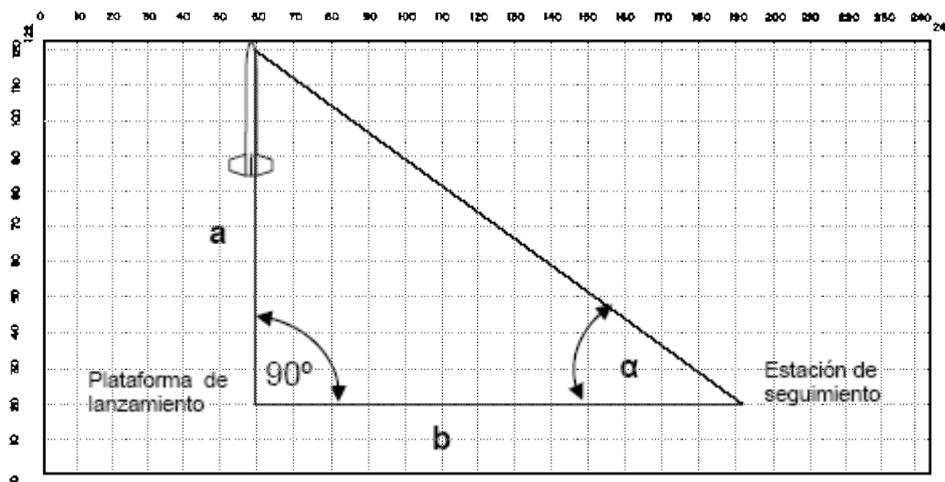


FIGURA 116: Representación gráfica sobre papel milimetrado

Prologamos la hipotenusa y la normal del triángulo hasta que se crucen en un punto. Medimos en el dibujo la longitud entre este punto de corte y el de la plataforma de lanzamiento.

La altitud la obtenemos transformando la longitud obtenida (**a**) a la escala real.

Este método es aplicable igual si disponemos de una sola estación o de dos estaciones de seguimiento. El inconveniente de éste método es que sólo es efectivo si el modelo asciende en línea recta y perpendicular al suelo. Pero esto ocurre muy pocas veces, ya que los modelos generalmente serpentean y describen una parábola en su trayectoria. En dicha trayectoria además influyen otros factores como: cambios bruscos en la dirección del viento, variaciones en la velocidad del viento en diferentes capas de la atmósfera, y las zonas térmicas de aire caliente.

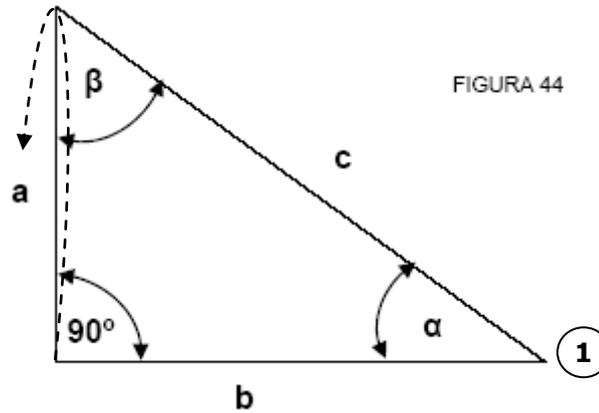
Así pues, cualquier variación en la trayectoria del modelo, hacen que este método sea poco fiable para calcular con exactitud la altitud alcanzada.

#### El Método trigonométrico.

Aunque el estudio de la trigonometría puede resultar muy complicado, los conceptos elementales que vamos a emplear pueden entenderse a un nivel elemental. Debemos saber que la trigonometría trata de las relaciones existentes entre los lados y los ángulos de un triángulo.

La trigonometría nos dice que si conocemos tres elementos de un triángulo, y uno de ellos es un lado, podemos hallar cualquiera de los demás datos del triángulo.

Empezamos por dar un pequeño repaso a las matemáticas dando nombre a las seis partes de nuestro triángulo de seguimiento:



Primera relación trigonométrica.

Si dividimos la longitud del lado (**a**) por la del lado (**b**), obtenemos un cociente que está relacionado con el ángulo (**α**). De forma que si al ángulo (**α**) aumenta, entonces el cociente **a/b** también aumenta, y si el ángulo (**β**) disminuye, el cociente **a/b** también disminuye.

**La tangente de un ángulo agudo en un triángulo rectángulo es igual al lado opuesto, dividido por el lado adyacente.**

La expresión matemática es:

$$\text{Tan } \alpha = \frac{a}{b}$$

Segunda relación trigonométrica.

**El seno de un ángulo agudo en un triángulo rectángulo es igual al lado opuesto, dividido por la hipotenusa.**

La expresión matemática es:

$$\text{Seno } \alpha = \frac{a}{c}$$

Y aunque existen otras cuatro relaciones trigonométricas básicas más, sólo necesitaremos las dos relaciones descritas anteriormente para el cálculo de la altitud alcanzada por el modelo.

**Modalidades de seguimiento y medición.**

Técnica 1: Una estación de seguimiento y un solo ángulo de elevación.

En esta modalidad de lanzamiento, conocemos la distancia de la Línea de Base (**b**) y el ángulo de elevación (**α**). Y suponiendo que el modelo haya volado recto y perpendicular al suelo, aplicaremos la primera relación trigonométrica:

$$\text{Tan } \alpha = \frac{a}{b}$$

Donde obtenemos la altitud (**a**), despejando la incógnita:

$$a = b \cdot \text{Tan } \alpha$$

(Consulte la tabla trigonométrica en el Apéndice I, ver página 85)

Técnica 2: Dos estaciones de seguimiento y dos ángulos de elevación.

En esta modalidad de lanzamiento, situamos las estaciones de seguimiento una enfrente de la otra de forma que la plataforma de lanzamiento quede encima de la línea descrita entre las dos estaciones.

Dibujamos el triángulo de seguimiento:

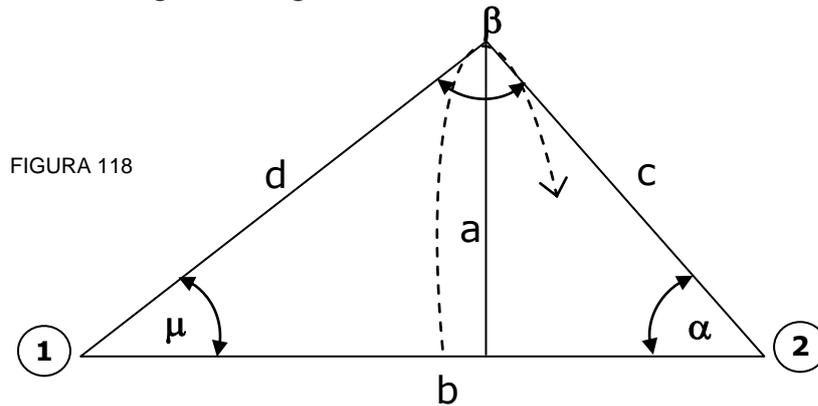


FIGURA 118

En este triángulo escaleno, podemos apreciar dos triángulos rectángulos sobre los que aplicaremos la segunda relación trigonométrica descrita anteriormente.

$$\text{Seno } \mu = \frac{a}{d}$$

$$\text{Seno } \alpha = \frac{a}{c}$$

De donde deducimos que:

$$a = d \cdot \text{Seno } \mu$$

$$a = c \cdot \text{Seno } \alpha$$

Podemos igualar ambas expresiones y transformarlas en:

$$\frac{c}{\text{Seno } \alpha} = \frac{d}{\text{Seno } \mu}$$

De forma similar, podemos establecer la siguiente igualdad:

$$\frac{c}{\text{Seno } \alpha} = \frac{d}{\text{Seno } \mu} = \frac{b}{\text{Seno } \beta}$$

Entendiendo esta relación, ahora podemos utilizarla para calcular los datos que nos faltan para calcular la altitud. Empezando por calcular el valor de la hipotenusa (c).

De la expresión anterior podemos decir que:

$$\frac{c}{\text{Seno } \alpha} = \frac{b}{\text{Seno } \beta}$$

Despejando (c) obtenemos que el valor de la hipotenusa es:

$$c = \frac{b \cdot \text{Seno } \alpha}{\text{Seno } \beta}$$

Finalmente, y una vez hemos calculado el valor de la hipotenusa (**c**), aplicamos la expresión deducida al principio:

$$a = c \cdot \text{Seno } \alpha$$

En resumen:

$$a = \frac{b \cdot \text{Seno } \alpha \cdot \text{Seno } \mu}{\text{Seno } \beta}$$

**Nota:**

Dado que los ángulos de un triángulo suman en total 180°, el valor del ángulo (**β**) será:

$$\beta = 180 - (\alpha + \mu)$$

Cuando consulte en la tabla trigonométrica el valor del (**sen β**), tenga en cuenta que si el ángulo (**β**) es mayor de 90°, el seno de éste ángulo es igual al seno del ángulo complementario, es decir:

$$\text{sen } \beta = \text{sen } (180 - \beta)$$

El inconveniente de éste método es que a veces no es factible colocar las estaciones de seguimiento en línea con la plataforma de lanzamiento y con la dirección perpendicular al viento. Si el viento cambia de dirección, deberá cambiar las estaciones de sitio. Igualmente, es muy probable que el modelo no vuele en línea recta y perpendicular al suelo.

El único medio de resolver estos problemas, es utilizar una modalidad que no dependa del lugar donde estén emplazadas las estaciones de seguimiento, ni de la dirección que sople el viento.

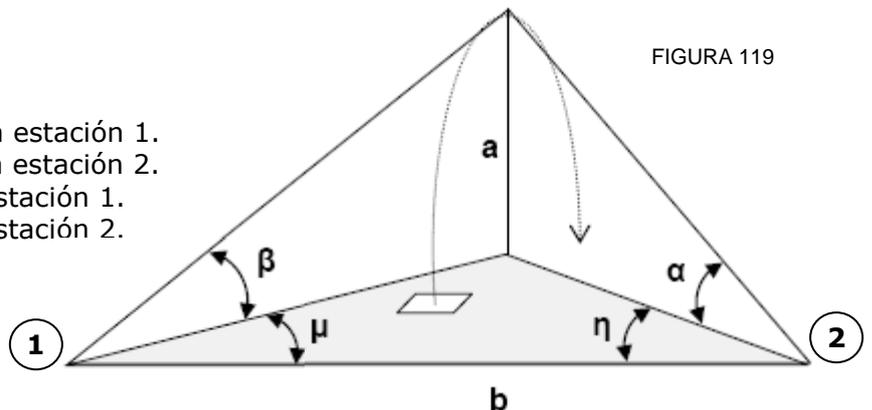
Técnica 3: Dos estaciones de seguimiento, dos ángulos de elevación, y acimut.

En esta modalidad, independientemente de la ubicación de las estaciones de seguimiento y de la dirección del viento, podremos calcular la altitud alcanzada por el modelo con la mayor exactitud. Este es el método utilizado en las competiciones internacionales de la FAI (Federación Aeronáutica Internacional).

Dibujamos el sistema con todos los elementos que vamos a necesitar:

Donde:

- a** : altitud.
- b** : Línea Base.
- β** : ángulo de elevación de la estación 1.
- α** : ángulo de elevación de la estación 2.
- μ** : ángulo de acimut de la estación 1.
- η** : ángulo de acimut de la estación 2.



Conocidos los cuatro ángulos y la distancia de la Línea de Base, aplicamos las siguientes fórmulas:

Fórmula 1:  $a1 = \frac{b \cdot \text{Tan } \alpha \cdot \text{Seno } \mu}{\text{Seno } (180 - (\mu + \eta))}$

Fórmula 2:  $a2 = \frac{b \cdot \text{Tan } \beta \cdot \text{Seno } \eta}{\text{Seno } (180 - (\mu + \eta))}$

En las competiciones internacionales de la FAI, si las dos alturas obtenidas oscilan en un promedio del 10%, se consideran válidas para determinar la altitud alcanzada por el modelo.

La altitud definitiva es el promedio entre **a1** y **a2**:

$$a = \frac{a1 + a2}{2}$$

**NOCIONES AVANZADAS**

**Fuerzas Normales aerodinámicas.**

Las fuerzas normales que intervienen en un modelo de cohete son:

- El peso del modelo.
- La fuerza de empuje del motor.
- Las fuerzas normales aerodinámicas.

Las fuerzas normales aerodinámicas son las que ejerce el aire sobre el modelo mientras está volando, y todas se resumen en una *Fuerza Normal* que se concentra sobre el CP.

**Fuerza Normal.**

Se denomina Fuerza Normal ( $F_{N\alpha}$ ) a la suma de todas las fuerzas normales de presión que el aire ejerce sobre el modelo, en contraposición a la dirección de avance del mismo, y que se concentra en un punto sobre su superficie que se denomina Centro de Presiones.

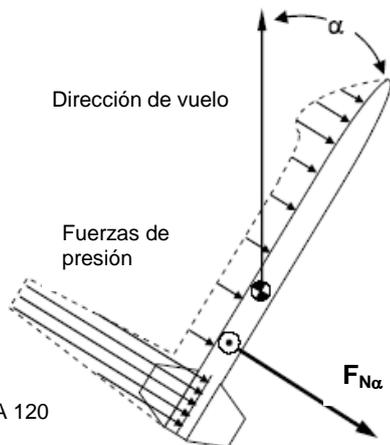


FIGURA 120

La *Fuerza Normal* que actúa sobre un modelo de cohete, depende de la forma que tenga el modelo, de la densidad del aire, de la velocidad del modelo, del área de la sección transversal del cohete frente a la dirección de vuelo y del ángulo de ataque (FIGURA 120)

La ecuación que determina su magnitud es de la forma siguiente:

$$F_{N\alpha} = C_{N\alpha} \frac{\rho \cdot v^2 \cdot \alpha \cdot A_r}{2}$$

Donde:

- $\alpha$ ..... es el ángulo de ataque del cohete. El ángulo de ataque es aquel que forma el eje longitudinal del modelo con la dirección de vuelo.
- $C_{N\alpha}$ ... es el coeficiente de la normal que se considera para la forma del cohete.
- $\rho$ ..... es la densidad del aire (1,223 Kg/m<sup>3</sup>).
- $v$ ..... es la velocidad del modelo.
- $A_r$ ..... es el área seccional de referencia. Normalmente la del mayor diámetro del cuerpo.

Se puede observar en la ecuación que la  $F_{N\alpha}$  total, es mayor para cohetes grandes pues el área de referencia  $A_r$  es mayor. También podemos observar que cuando el ángulo de ataque  $\alpha$  se aproxima a cero, el valor de la  $F_{N\alpha}$  tiende a cero.

Cuando el ángulo de ataque es  $\alpha=2^\circ$ , la  $F_{N\alpha}$  es mas grande que si  $\alpha=1^\circ$ . Así, para una velocidad determinada, cuanto mayor sea el ángulo de ataque en un modelo estable, mayor será el valor de la  $F_{N\alpha}$  que tiende a reducir el valor de  $\alpha$ .

Igualmente, podemos observar en la ecuación anterior, que cuanto mayor sea la velocidad del cohete, mayor será la  $F_{N\alpha}$  que tiende a reducir el valor de  $\alpha$ . La  $F_{N\alpha}$  actúa siempre sobre el Centro de Presiones del modelo, y la magnitud que tenga en cada momento originará un Momento de giro.

Volviendo al teorema de los momentos aplicado a la estabilidad de un modelo en vuelo, científicos e ingenieros han resuelto complejos problemas simplificándolos lo más que sea posible.

$$M = F \cdot L$$

Sería una tarea muy complicada y llevaría mucho tiempo estudiar todos y cada uno de los escenarios con unas condiciones generales concernientes a la estabilidad del modelo si sólo pudiéramos trabajar con las fuerzas de presión distribuidas sobre el modelo.

Considerando esta dificultad, la distribución de dichas fuerzas no significa nada hasta que se descubre que simplificando el sistema en secciones separadas correspondientes a cada parte del modelo, las ecuaciones generales se desarrollan para dar la fuerza normal en cada sección.

No obstante, el conocer la fuerza normal en cada sección, no nos aclara si el modelo será estable o no. Tan solo si completamos y simplificamos el problema a un único sistema alcanzaremos a entender fácilmente el problema. Este proceso pasa por determinar previamente todas y cada una de las fuerzas normales que finalmente resumiremos en una única fuerza total normal, la cual causará físicamente el mismo efecto sobre el modelo en vuelo libre. Este proceso se denomina *reducción de fuerzas*.

En otras palabras, la fuerza total normal tiene una magnitud igual a la suma de todas las fuerzas normales distribuidas en el modelo, y lo más importante, produce el mismo momento de giro sobre el punto de giro que la producida por la suma de todas las fuerzas de presión.

**Coefficientes de la Normal y del Arrastre aerodinámico.**

Existe un determinado número de coeficientes aerodinámicos que influyen directamente sobre las fuerzas aerodinámicas que actúan en la normal al eje longitudinal del modelo. Por ejemplo, las fuerzas normales que actúan sobre las aletas se generan a partir de cuatro factores: el ángulo de ataque, el ángulo del filo de la aleta, la razón de giro, y la razón de cabeceo. Estos factores crean el coeficiente de la fuerza normal  $C_{N\alpha}$ , sobre el centro de presiones, un coeficiente del momento de la fuerza de giro, un coeficiente del momento de amortiguación del giro, y el coeficiente del momento de amortiguación del cabeceo respectivamente. La única fuerza normal que actúa sobre el cuerpo de todo el cohete es la que se debe a un determinado ángulo de ataque. Esta es la Fuerza normal sobre el Centro de presiones.

Para un cohete que viaja a una velocidad  $v$ , en un fluido gaseoso con densidad  $\rho$ , las fuerzas aerodinámicas normal  $F_N$  y de arrastre  $F_D$  pueden escribirse de la forma:

$$F_N = \frac{A \cdot \rho \cdot C_N \cdot V^2}{2}$$

$$F_D = \frac{A \cdot \rho \cdot C_D \cdot V^2}{2}$$

Donde  $C_N$  y  $C_D$  son los coeficientes de la Normal y del Arrastre respectivamente,  $A$  es un área de referencia que interviene junto a  $C_N$  y  $C_D$  de la siguiente forma: El área puede elegirse de forma aleatoria, pero  $C_N$  y  $C_D$  son escalas diferentes.

Para ángulos de ataque muy pequeños, lo habitual es que el área elegida para los cálculos  $A$ , sea la de la sección transversal frontal más grande del cuerpo del cohete (FIGURA 121).

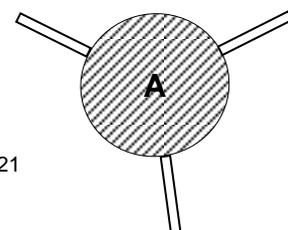


FIGURA 121

El  $C_N$  es proporcional al ángulo de ataque, y para un cohete simétrico con un ángulo de ataque igual a cero,  $C_N$  también es cero. (FIGURA 122).

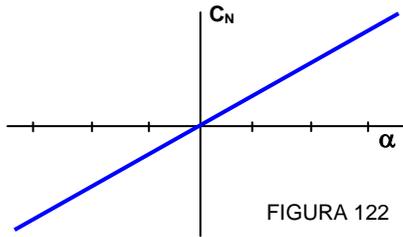


FIGURA 122

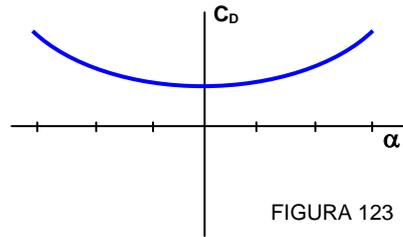


FIGURA 123

El coeficiente del Arrastre aerodinámico  $C_d$  depende del ángulo de ataque y de la velocidad (en términos de números de March y números de Reynolds). Este valor nunca toma el valor cero aún siendo el ángulo de ataque igual a cero (FIGURA 123).

El arrastre de un cohete se genera básicamente por tres mecanismos diferentes:

- La fricción sobre la superficie del cohete.
- La presión del aire de arrastre.
- El arrastre de la base del cohete.

La fricción en la superficie del cohete no es realmente la fricción entre el cohete y el aire, sino la fricción entre las moléculas del aire moviéndose a diferentes velocidades (viscosidad del aire) sobre la superficie que rodea al cohete. A velocidades subsónicas de vuelo la fricción es la que contribuye en mayor medida al arrastre, y a velocidades supersónicas es el principal contribuyente. La presión de arrastre normalmente contribuye en escasa medida al arrastre total. A velocidades supersónicas, la presión de arrastre se la denomina "onda de arrastre". El arrastre en la base del cohete se crea por el avance del mismo durante el vuelo. Una forma de reducir este arrastre consiste en incorporar en la parte trasera del cohete un soporte cónico trasero.

**Por qué  $C_{Na}$  puede utilizarse para representar la Fuerza normal.**

Utilizando el principio de reducción de fuerzas, la siguiente derivada demuestra por qué es matemáticamente aceptable utilizar el coeficiente dimensional asociado  $C_{Na}$  para reemplazar la fuerza total normal en las ecuaciones del *momento de giro*.

La fuerza simple debe tener el mismo valor que el total de las fuerzas que intervienen por separado:

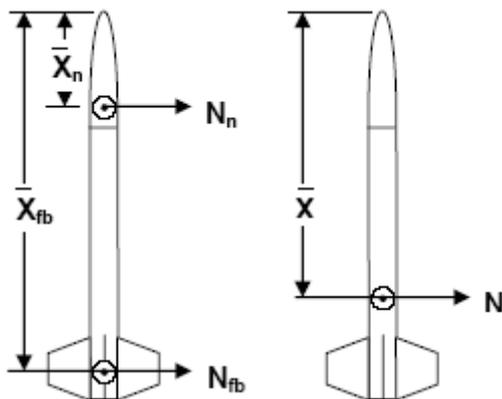


FIGURA 124

$$N = N_n + N_{fb}$$

El momento total sobre el punto de referencia debido a la fuerza total normal es:

$$M = N \cdot \bar{X} = (N_n + N_{fb}) \cdot \bar{X}$$

Y el momento sobre el cono y sobre las aletas en presencia del cuerpo es:

$$M_n = N_n \cdot \bar{X}_n$$

$$M_{fb} = N_{fb} \cdot \bar{X}_{fb}$$

$$M = M_n + M_{fb}$$

El momento total es la suma de los momentos sobre el cono y sobre las aletas en presencia del cuerpo:

Sustituimos las expresiones de los momentos:  $(N_n + N_{fb}) \cdot \bar{X} = (N_n \cdot \bar{X}_n) + (N_{fb} \cdot \bar{X}_{fb})$

Despejamos el valor del punto de localización de la fuerza total normal:

$$\bar{X} = \frac{N_n \cdot \bar{X}_n + N_{fb} \cdot \bar{X}_{fb}}{N_n + N_{fb}}$$

Dadas las ecuaciones de la fuerza normal aerodinámica en el cono y en las aletas en presencia del cuerpo:

$$N_n = (C_{N\alpha})_n \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 \cdot \alpha \cdot A_r$$

$$N_{fb} = (C_{N\alpha})_{fb} \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 \cdot \alpha \cdot A_r$$

Las sustituimos en la expresión de X:

$$\bar{X} = \frac{[(C_{N\alpha})_n \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 \cdot \alpha \cdot A_r] \cdot \bar{X}_n + [(C_{N\alpha})_{fb} \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 \cdot \alpha \cdot A_r] \cdot \bar{X}_{fb}}{(C_{N\alpha})_n \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 \cdot \alpha \cdot A_r + (C_{N\alpha})_{fb} \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 \cdot \alpha \cdot A_r}$$

Simplificamos la expresión:

$$\bar{X} = \frac{[(C_{N\alpha})_n \cdot \bar{X}_n + (C_{N\alpha})_{fb} \cdot \bar{X}_{fb}] \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 \cdot \alpha \cdot A_r}{[(C_{N\alpha})_n + (C_{N\alpha})_{fb}] \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 \cdot \alpha \cdot A_r}$$

Así pues, el  $C_{N\alpha}$  es el principal factor que afecta a la fuerza total normal que actúa sobre el modelo y es el único factor que varía en cada sección del modelo. Finalmente, la expresión anterior será la que utilizaremos para hallar la localización del CP del modelo:

$$\bar{X} = \frac{(C_{N\alpha})_n \cdot \bar{X}_n + (C_{N\alpha})_{fb} \cdot \bar{X}_{fb}}{(C_{N\alpha})_n + (C_{N\alpha})_{fb}}$$

### Localización del Centro de Presiones (Ecuaciones de Barrowman).

Antes de entrar de lleno en esta sección, he de advertir que para derivar todas las ecuaciones que se describen a continuación deben cumplirse unas determinadas condiciones básicas dadas por el ingeniero espacial Jim Barrowman, a saber:

- Que el (AOA) ángulo de ataque  $\alpha$  sea muy próximo a cero (menos de  $10^\circ$ ).
- Que la velocidad del cohete sea inferior a la del sonido (menos de 180 m/s).
- Que el aire que actúa sobre el cohete es uniforme y no varía repentinamente.
- Que el modelo es proporcionalmente delgado en relación a su longitud.
- Que el cono del cohete está acabado en punta.
- Que el cohete es un cuerpo rígido y axialmente simétrico.
- Que las aletas son superficies planas y delgadas.

Aunque estas condiciones parezcan demasiado estrictas, la mayor parte de los modelos de cohete se ajustan bien a estos requisitos.

Que un modelo de cohete sea *estable* o *inestable*, dependerá fundamentalmente de la localización; del *Centro de Presiones* (CP), del *Centro de Gravedad* (CG), y de la distancia que los separa o *Margen de Estabilidad*.

Dado que a nosotros nos conviene verificar que el modelo tiene este margen, debemos conocer el valor de  $C_{N\alpha}$  en cada una de las partes o secciones que lo conforman. Finalmente resumiremos todos estos coeficientes en uno solo, el cual nos proporcionará el punto exacto donde se encuentra el CP del modelo.

Para velocidades inferiores a la del sonido,  $C_{N\alpha}$  depende sólo de la forma del cohete, y el cálculo del CP es un efecto directo de  $C_{N\alpha}$ . Así pues, el cálculo de  $C_{N\alpha}$  es esencial y no tanto la  $F_{N\alpha}$ .

Por simplicidad y conveniencia,  $C_{N\alpha}$  estará referida en adelante como la *Fuerza Normal de Arrastre* sobre el cohete.

**Análisis por partes de un modelo de cohete.**

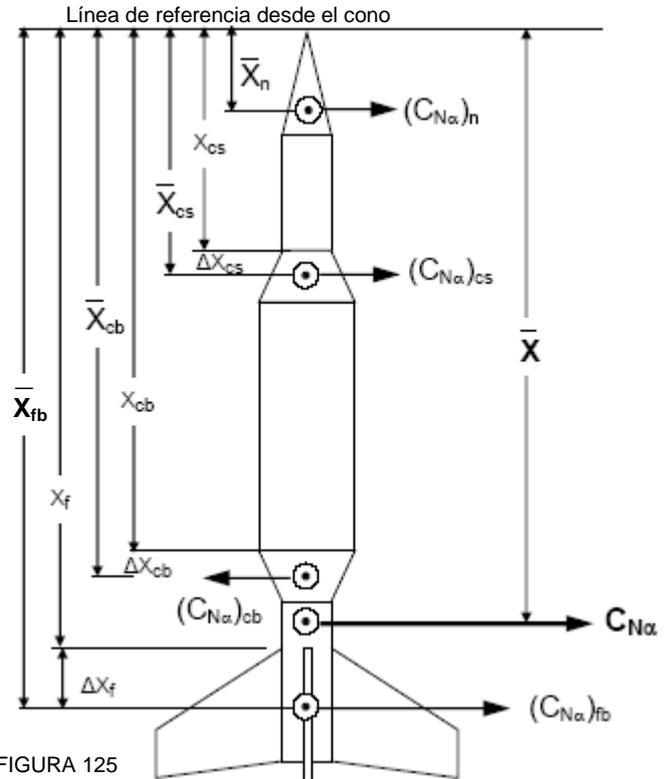
Un modelo de cohete se divide en las siguientes partes, con sus correspondientes CP y  $C_{N\alpha}$  (FIGURA 125)

Los subíndices añadidos a  $C_{N\alpha}$  y a X indican a qué parte del modelo estamos haciendo referencia:

- n** = cono
- cb** = soporte cónico trasero
- cs** = soporte cónico delantero
- f** = aleta
- fb** = aletas adosadas al cuerpo

A fin de que sean significativas las localizaciones de del CP en cada una de las partes del modelo, éstas deberán medirse desde un mismo punto de referencia.

En este documento, el punto de referencia común será *siempre* el extremo del cono.



Por consiguiente, el CG deberá medirse también desde el mismo punto de referencia.

Las ecuaciones que utilizaremos a continuación, para el cálculo de los CP's y  $C_{N\alpha}$  por partes, fueron derivadas por Barrowman usando el cálculo matemático. En este documento no se hacen demostraciones de dicho cálculo, tan sólo se presentan las ecuaciones obtenidas para ser aplicadas en un modelo de cohete.

Los modelistas que posean conocimientos matemáticos avanzados y que deseen satisfacer su curiosidad, podrán encontrar suficiente información en los documentos relacionados en el apartado de Bibliografía (ver página 82).

**Ecuaciones de Barrowman.**

Las ecuaciones, para cada parte del modelo, se calculan por separado y en el siguiente orden:

- El cono (n)
- El soporte cónico delantero (cs)
- El soporte cónico trasero (cb)
- Las aletas (f, fb).

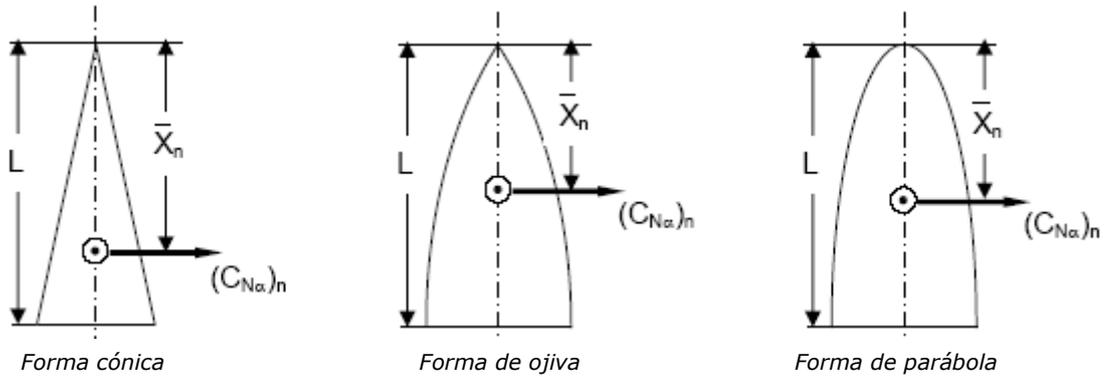
Al final combinaremos los resultados obtenidos para hallar el valor de  $C_{N\alpha}$  en el CP de todo el modelo, y la distancia  $\bar{X}$  desde el extremo superior del cono, donde está localizado el CP.

**El CP en el cono**

En general, la fuerza normal  $(C_{Na})_n$  es idéntica para todas las formas de cono:

$$(C_{Na})_n = 2$$

Por otra parte, la localización del CP en el cono ( $\bar{X}_n$ ), varía según sea la forma que tenga. Básicamente, las posibles configuraciones de los conos, se resumen en tres tipos:



Para la forma cónica, la localización del CP es:

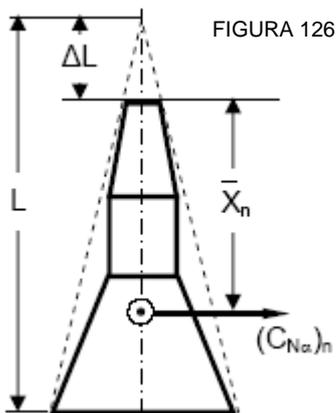
$$\bar{X}_n = \frac{2}{3} \cdot L$$

Para la forma en ojiva, la localización del CP es:

$$\bar{X}_n = 0.466 \cdot L$$

Para la forma en parábola, el CP se localiza en:

$$\bar{X}_n = \frac{1}{2} \cdot L$$



**Caso especial.**

La forma de la cápsula *Mercury* y otras semejantes, no se corresponden con ninguna de las tres formas básicas de cono. No obstante, se ha comprobado que una forma tal, puede simplificarse perfilando sobre las cuatro esquinas (línea punteada) y analizarse como si fuera un *cono*. Sin embargo, recuerde que el valor de  $\bar{X}_n$  debe calcularse restando  $\Delta L$  a la longitud total L del perfil.

Esta técnica fue utilizada por los ingenieros de la NASA en los diseños preliminares de las cápsulas *Mercury*, *Gemini*, y *Apolo*.

**El CP en el soporte cónico**

La fuerza normal en un soporte cónico delantero  $(C_{Na})_{cs}$ , o trasero  $(C_{Na})_{cb}$ , se calcula en ambos casos por la misma ecuación. El resultado dará un valor *positivo* para  $(C_{Na})_{cs}$  y un valor *negativo* para  $(C_{Na})_{cb}$ .

$$(C_{Na})_{cs/cb} = 2 \cdot \left[ \left( \frac{d_2}{d} \right)^2 - \left( \frac{d_1}{d} \right)^2 \right]$$

Donde **d** es el diámetro de la base del cono.

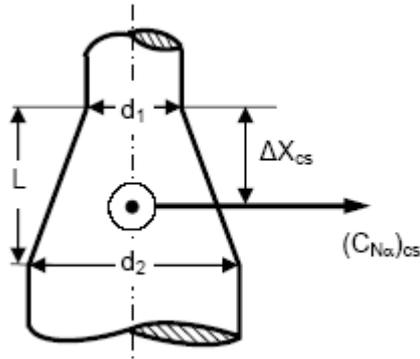


FIGURA 127: Soporte cónico delantero

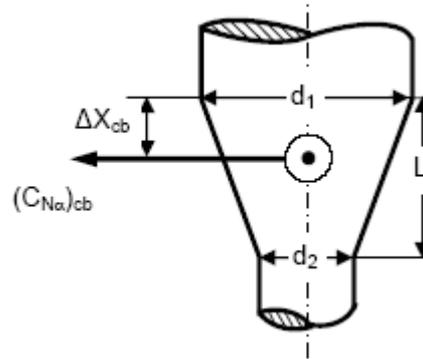


FIGURA 128: Soporte cónico trasero

La localización del CP en el soporte cónico delantero  $\bar{X}_{cs}$ , o trasero  $\bar{X}_{cb}$ , se calcula en ambos casos con la misma ecuación:

$$\bar{X}_{cs/cb} = X_{cs/cb} + \Delta X_{cs/cb}$$

$$\bar{X}_{cs/cb} = X_{cs/cb} + \frac{L}{3} \cdot \left[ \frac{1 - \frac{d_1}{d_2}}{1 - \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2} \right]$$

Donde:  $X_{cs/cb}$  es la distancia desde el extremo del cono hasta la parte delantera del soporte cónico que corresponda.

**El CP en el cuerpo**

Uno de los requisitos de un modelo de cohete es que debe poseer un cuerpo cilíndrico y alargado. Partimos de la base de que estamos analizando un modelo estable, por lo que para ángulos de ataque inferiores a 10°, el valor de la fuerza normal en estas partes del modelo es tan pequeña que puede despreciarse.

Este dato fue obtenido en pruebas del túnel de viento sobre cilindros, alambres y cables inclinados en la dirección del viento (1918 y 1919), para mejorar el biplano de la I Guerra Mundial.

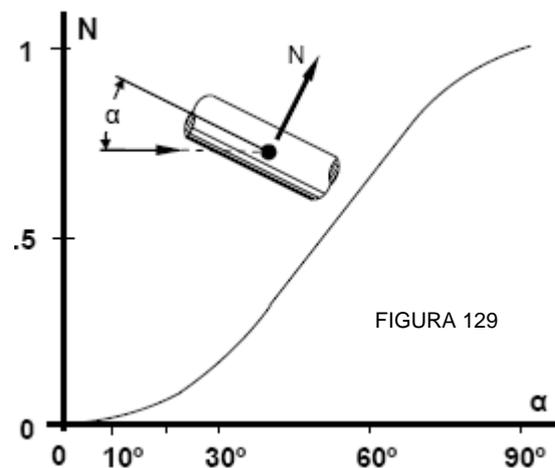


FIGURA 129

No obstante, si el ángulo de ataque es mayor a 10°, no podemos desestimar la fuerza normal que actúa sobre el cuerpo. Este caso se desarrolla en el apartado "Extensión a las ecuaciones de Barrowman para ángulos de ataque grandes" (ve página 58).

**El CP en las aletas**

En realidad Barrowman no estudia la localización del CP de cada aleta de un cohete de forma individual, sino que las estudia en conjunto y en presencia del cuerpo, es decir, agrupadas alrededor de un cuerpo cilíndrico, y en función de un factor de interferencia.

Cualquier aleta que no tenga una forma demasiado complicada, puede simplificarse a otra forma que llamamos "aleta ideal" (FIGURA 130), que tenga tres o cuatro líneas rectas. Simplificar correctamente las formas complicadas de aletas es importante, no sólo para asegurarnos de que ambas tienen la misma superficie, sino también para facilitar el cálculo de la Fuerza normal  $(C_{N\alpha})_f$  y la localización del CP,  $\bar{X}_f$ .

Algunos ejemplos de cómo se debe simplificar la forma de una aleta, las líneas continuas definen la aleta original, y las líneas punteadas definen la aleta ideal:

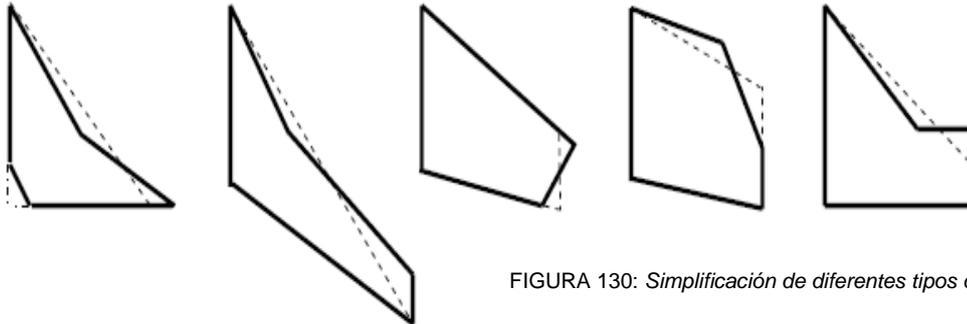


FIGURA 130: Simplificación de diferentes tipos de aleta.

A partir de la aleta ideal, reconocemos en ella las diferentes partes que usaremos para el cálculo de la fuerza normal y para la localización del CP.

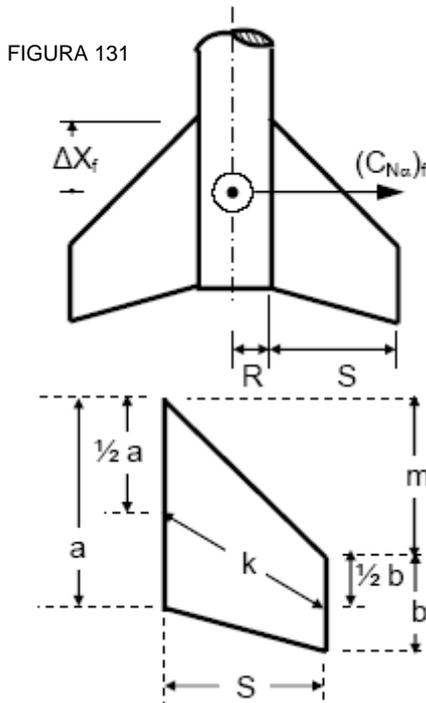


FIGURA 131

**Factor de interferencia en las aletas.**

La fuerza normal en las aletas  $(C_{N\alpha})_{fb}$  está influenciada por el aire que pasa por la superficie de las aletas, y por la sección del cuerpo a la cual están unidas. A esta influencia se la denomina "Factor de Interferencia",  $K_{fb}$ , que deberemos tener en cuenta para calcular el valor de  $(C_{N\alpha})_{fb}$ .

El factor de interferencia para 3, 4 o 5 aletas es:

$$K_{fb} = 1 + \frac{R}{S + R}$$

El factor de interferencia para 6 aletas es:

$$K_{fb} = 1 + \frac{0.5 \cdot R}{S + R}$$

La fuerza normal en las aletas, sin Factor de Interferencia, según el número de aletas a utilizar, es:

$$(C_{N\alpha})_f = \frac{4 \cdot n \cdot \left[ \frac{S}{d} \right]^2}{1 + \sqrt{1 + \left[ \frac{2 \cdot k}{a + b} \right]^2}}$$

Donde **n** es el número de aletas, y **d** el diámetro del cuerpo donde estén ubicadas.

Finalmente, la fuerza normal de las aletas, en presencia del cuerpo:

$$(C_{N\alpha})_{fb} = K_{fb} \cdot (C_{N\alpha})_f$$

**Nota:** Para modelos de cohete que tengan más de seis aletas, estas ecuaciones no se pueden utilizar.

La localización del CP en una aleta, es la misma en las demás aletas de la cola del cohete, ya que el CP no depende del número de aletas en la cola o timón, si todas tienen el mismo tamaño, forma y superficie.

$$\bar{X}_{fb} = X_f + \Delta X_f$$

$$\bar{X}_{fb} = X_f + \frac{m(a + 2 \cdot b)}{3 \cdot (a + b)} + \frac{1}{6} \cdot \left[ a + b - \frac{a \cdot b}{a + b} \right]$$

Donde:  $X_f$  es la distancia desde el extremo superior del cono hasta la parte superior de las aletas.

**Cálculos combinados.**

Para finalizar, debemos combinar todos los resultados obtenidos para obtener el valor de la *Fuerza Normal de Arrastre* de todo el modelo y la localización del CP donde se concentra toda esta fuerza.

La fuerza normal en todo el modelo de cohete,  $C_{N\alpha}$ , es la suma de las fuerzas normales en todas sus partes.

$$C_{N\alpha} = (C_{N\alpha})_n + (C_{N\alpha})_{cs} + (C_{N\alpha})_{cb} + (C_{N\alpha})_{fb}$$

La localización del CP en el modelo de cohete,  $\bar{X}$ , se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\bar{X} = \frac{(C_{N\alpha})_n \cdot \bar{X}_n + (C_{N\alpha})_{cs} \cdot \bar{X}_{cs} + (C_{N\alpha})_{cb} \cdot \bar{X}_{cb} + (C_{N\alpha})_{fb} \cdot \bar{X}_{fb}}{C_{N\alpha}}$$

Si el modelo se compone de varias fases, deberá calcular el valor de  $C_{N\alpha}$  y localizar el CP en cada una de ellas *por separado*, y finalmente combinar los resultados obtenidos para todo el conjunto del modelo. Por otro lado, si el modelo carece de soporte cónico delantero o trasero, simplemente no se realizará el cálculo para estas partes, y en consecuencia, en las ecuaciones finales para el cálculo de  $C_{N\alpha}$  y del CP en todo el modelo los valores de estas partes se considerarán nulos.

**Extensión a las ecuaciones de Barrowman para ángulos de ataque grandes.**

Aunque Jim Barrowman tiene razón en cuanto a que para ángulos de ataque pequeños (próximos a 0º) el coeficiente de la normal en el cuerpo del modelo  $(C_{N\alpha})_b$  es despreciable, en la realidad no se puede aceptar esta consideración de forma tajante. Pues como hemos dicho, el ángulo de ataque de un modelo en vuelo puede incrementarse pudiendo alcanzar valores superiores a los 10º, sobre todo en un día muy ventoso.

La cuestión ahora es determinar qué fue lo que Jim Barrowman omitió en su trabajo y añadirlo a sus fórmulas para determinar el CP del modelo en función del ángulo de ataque  $\alpha$ . Basándonos en los números de Reynolds altos y el flujo laminar del aire a velocidades subsónicas, el coeficiente de arrastre de un cuerpo cilíndrico a partir de su longitud, diámetro y superficie lateral, se ajusta a la siguiente ecuación:

$$C_{db} = 0.6342 \cdot \left( \frac{L}{D} \right)^{0.1165}$$

Donde: **L** es la longitud del cuerpo cilíndrico.  
**D** es el diámetro del cuerpo cilíndrico.

Por otro lado, sabemos que el coeficiente de la normal es de la forma:

$$C_N = \frac{4 \cdot K \cdot A \cdot \alpha^2}{\pi \cdot D^2}$$

Para un cuerpo cilíndrico, la constante de proporcionalidad **K** es el coeficiente de arrastre tridimensional del cuerpo **C<sub>db</sub>** para el flujo del aire actuando en la normal al eje longitudinal del cuerpo.

En base a los datos obtenidos en el túnel de viento para un cuerpo cilíndrico, el coeficiente de la normal del cuerpo responde a una ecuación no lineal expresada en función del Seno de un ángulo, y concretamente del ángulo de ataque **α**:

$$(C_{N\alpha})_b = \frac{4 \cdot C_{db} \cdot A \cdot f(\alpha)}{\pi \cdot D^2}$$

Donde: **C<sub>db</sub>** es el coeficiente de arrastre del segmento cilíndrico del cuerpo.  
**A** es el área longitudinal total del segmento cilíndrico del cuerpo (L·D).  
**D** es el diámetro del segmento cilíndrico del cuerpo.  
**f(α) = 1.28819·(Seno α)<sup>3</sup> + 0.33643·(Seno α)<sup>2</sup> + 0.07934·(Seno α)**

El centro de presiones de un segmento cilíndrico se localiza en:

$$X_b = L/2$$

$$\bar{X}_b = L_{cono} + X_b$$

A continuación, agregamos la componente para el cuerpo en las fórmulas de Barrowman:

$$\bar{X} = \frac{(C_{N\alpha})_n \cdot \bar{X}_n + (C_{N\alpha})_{cs} \cdot \bar{X}_{cs} + (C_{N\alpha})_{cb} \cdot \bar{X}_{cb} + (C_{N\alpha})_{fb} \cdot \bar{X}_f + (C_{N\alpha})_b \cdot \bar{X}_b}{C_{N\alpha} + (C_{N\alpha})_b}$$

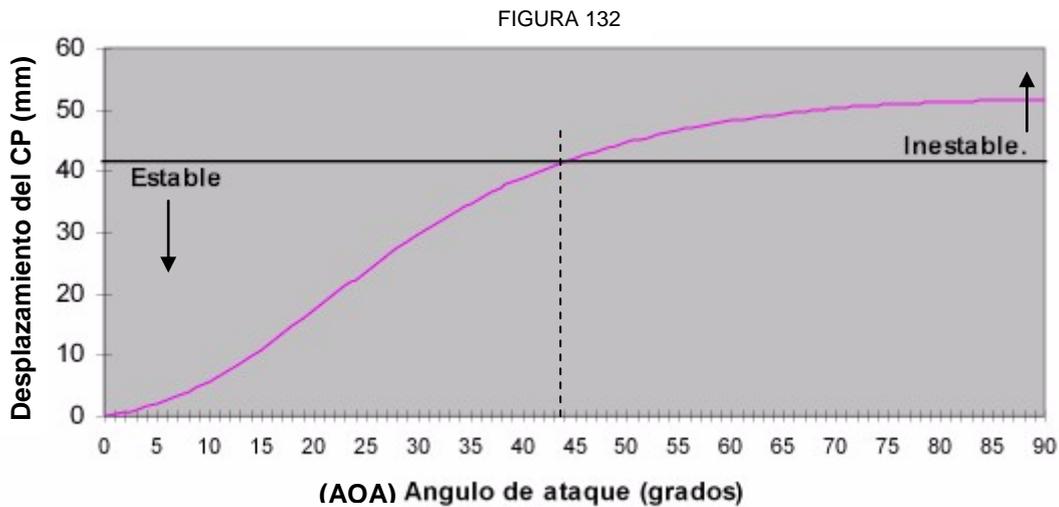
Finalmente, esta ecuación queda reducida a una expresión que nos proporciona la localización del CP (medida desde la punta del cono) en función de **f(x)**, es decir, del ángulo de ataque. La expresión final, una vez calculados los valores constantes (Cte<sub>n</sub>) para cada componente del modelo, la expresión quedará reducida a la siguiente expresión:

$$\bar{X} = \frac{Cte_1 + Cte_2 \cdot f(\alpha)}{Cte_3 + Cte_4 \cdot f(\alpha)}$$

Puede observarse que esta ecuación proporciona el mismo resultado que se obtiene en la ecuación original de Barrowman para α=0°, y además resuelve el problema de la localización de un CP que se desplaza hacia el cono en función (*no-lineal*) del valor del ángulo de ataque **α**.

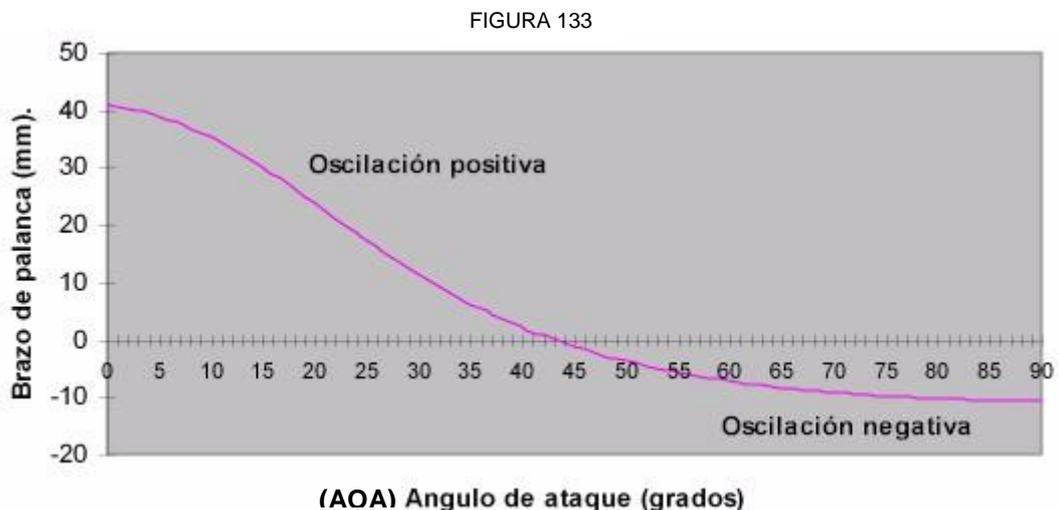
Aplicando esta ecuación extendida de Barrowman sobre un modelo de cohete, en concreto el ASPID I, podemos obtener una serie de informaciones importantes para el diseño del mismo. Igualmente nos ofrece la posibilidad de estudiar cómo es la estabilidad del cohete en cuestión, y cuáles son sus límites de tolerancia ante posibles circunstancias adversas que pueden afectar a su estabilidad.

Mediante las gráficas obtenidas en una hoja de cálculo a partir de los datos de cada uno de los componentes del cohete objeto del estudio podemos ver, por ejemplo, en qué medida se desplaza el CP desde su posición original (CP Barrowman) hacia el cono conforme aumenta el ángulo de ataque (AOA) desde 0° hasta 90° (FIGURA 132).



La línea horizontal de color negro indica el punto límite tolerable en el desplazamiento del CP sobre el modelo, es decir, donde el CP y el CG coinciden, y por lo tanto el punto donde la estabilidad del cohete es neutral. Por encima de este punto, el desplazamiento ubica al CP por delante del CG y el modelo es inestable. Por debajo de este punto, el cohete aún es estable pues el CP está por detrás del CG. La función en color morado indica en qué medida el CP se va desplazando hacia el cono según varía el ángulo de ataque desde  $\alpha=0^\circ$  hasta  $\alpha=90^\circ$ .

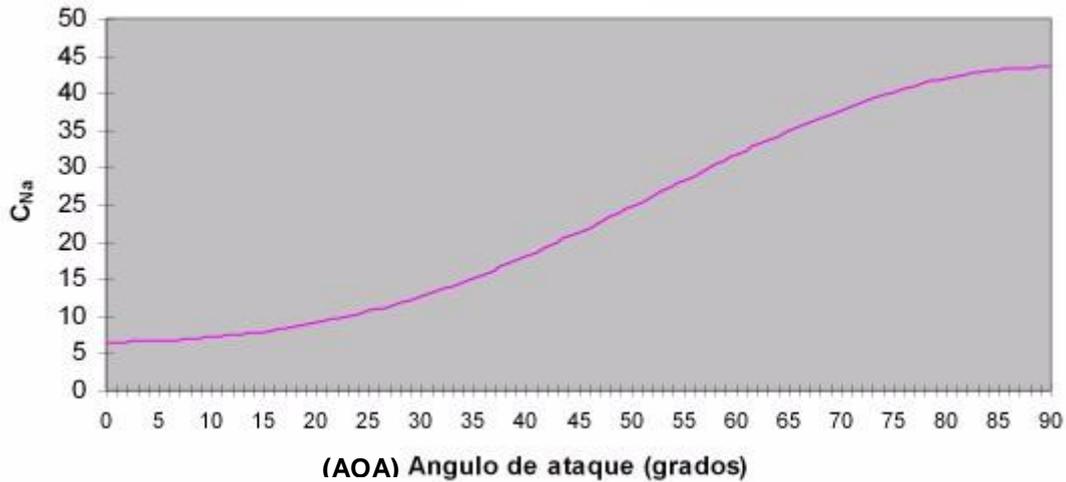
En otra gráfica, podemos estudiar la variación del Margen de estabilidad en función del incremento del AOA (FIGURA 133).



En esta gráfica puede observarse que el Brazo de palanca o Margen de estabilidad se reduce conforme se incrementa el ángulo de ataque, es decir, conforme el CP se desplaza hacia el cono. Cuando el Brazo de palanca es cero, el CP coincide con el CG. Mientras el Margen de estabilidad esté por encima de cero, la oscilación será positiva y viceversa.

Finalmente, otra gráfica interesante es la que nos muestra en qué medida varía la Fuerza normal que actúa sobre el CP mediante el coeficiente de la normal que actúa sobre todo el cohete (FIGURA 134).

FIGURA 134



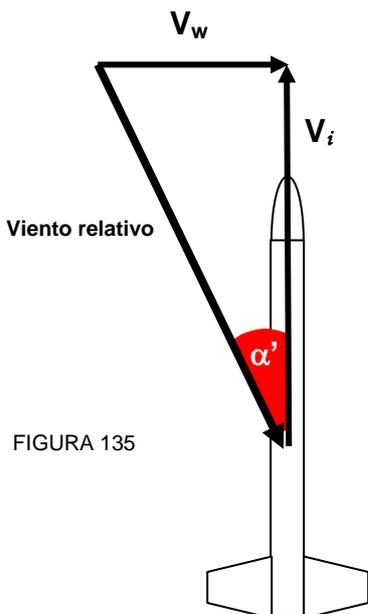
Para un ángulo de ataque  $\alpha=0^\circ$ , el valor del coeficiente de la normal ( $C_{N\alpha}$ ) es el mismo que resulta de aplicar la ecuación original de Barrowman. Cuanto mayor es el ángulo de ataque, mayor es el coeficiente de la normal y por lo tanto mayor es la Fuerza normal que actúa sobre el CP. La Fuerza normal alcanza su máximo valor en  $\alpha=90^\circ$ .

En las dos primeras gráficas (FIGURAS 132 y 133) podemos observar que a partir de un ángulo de ataque  $\alpha=43.1109^\circ$ , el cohete es inestable. Así pues, podemos decir que el **margen de estabilidad angular** de este modelo es de  $43^\circ$ . Sin embargo, la estabilidad en el vuelo del modelo dependerá de su velocidad de despegue y de la velocidad del viento lateral en el momento de abandonar la guía o rampa de lanzamiento.

### Cálculo de la velocidad mínima para un vuelo estable.

La velocidad mínima requerida de un modelo de cohete, en el momento de abandonar la guía de lanzamiento, depende de la velocidad del cohete  $V_i$ , del viento lateral  $V_w$  y del ángulo de ataque potencial  $\alpha'$  que resulta por la combinación de ambas velocidades en ese momento (FIGURA 135).

$$V_i = V_w / \tan \alpha'$$



Donde:  $V_i$  es la velocidad inicial del cohete en m/s.  
 $V_w$  es la velocidad del viento lateral en m/s.

De la misma ecuación anterior, conociendo la velocidad inicial del cohete y la velocidad del viento lateral en el momento de abandonar la guía de lanzamiento, podemos deducir que el AOA potencial  $\alpha'$  debido a la incidencia del viento relativo sobre el cohete es:

$$\alpha' = \tan^{-1} (V_w / V_i)$$

Cuanto mayor sea la velocidad inicial de despegue ( $V_i$ ), para una determinada velocidad del viento lateral ( $V_w$ ), menor será el AOA potencial  $\alpha'$ .

Ahora consideremos la importancia que tiene el *margen de estabilidad angular* visto anteriormente, en el momento crítico del despegue.

Cuando el cohete queda en libertad, el AOA real  $\alpha$  tiende a igualarse con el AOA potencial  $\alpha'$ . Dada esta posición desplazada del cohete, si su margen de estabilidad angular  $\theta$  es mayor que el AOA potencial  $\alpha'$  (FIGURA 136), la Fuerza normal tratará de hacer

que  $\alpha=0^\circ$ . Si por el contrario, el margen de estabilidad angular del cohete  $\theta$  es menor que  $\alpha'$ , sólo podemos esperar que el cohete, al abandonar la guía o rampa de lanzamiento, vuele de forma inestable (FIGURA 135).

$\theta$  = Margen de estabilidad angular del cohete.  
 $\alpha'$  = AOA potencial.

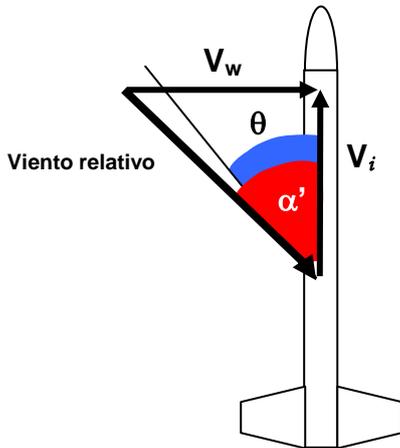


FIGURA 135: Cuando  $\theta < \alpha'$ , sólo podemos esperar que el cohete tenga un **vuelo inestable**.

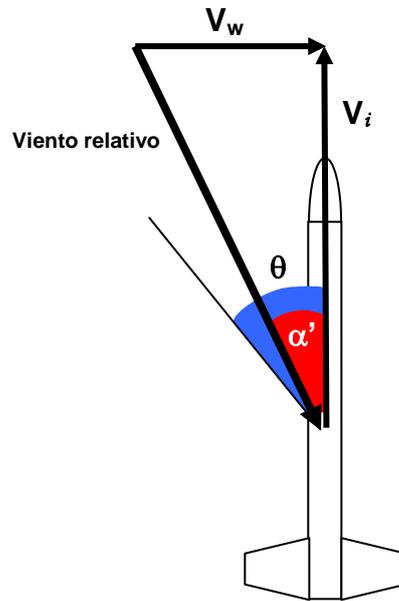


FIGURA 136: Cuando  $\theta > \alpha'$ , podemos esperar que el cohete tenga un **vuelo estable**.

Por este motivo, algunos cohetes que cumplen con la regla básica de estabilidad mínima de un calibre, pueden hacerse inestables durante el vuelo.

El *margen de estabilidad angular* se calcula mediante métodos empíricos, es decir, mediante la observación del comportamiento de un determinado modelo frente a un determinado flujo de aire. Así pues, la forma mas exacta de calcular el margen de estabilidad angular de un modelo de cohete consiste en realizar una serie de pruebas en un túnel de viento, observando su comportamiento con diferentes ángulos de inclinación frente a un determinado flujo de aire y deduciendo las ecuaciones necesarias a partir de los datos obtenidos para cada tipo de cohete.

Otra forma menos precisa para deducir el margen de estabilidad angular consiste en aplicar la ecuación extendida de Barrowman (ver página 58) junto con las características del cohete en una hoja de cálculo, y buscando la localización del CP en el modelo para cada ángulo de ataque, desde  $0^\circ$  hasta  $90^\circ$ , en una sucesión de cálculos.

Observando la diferencia entre el CP y el CG para cada ángulo de ataque, el valor del ángulo justo antes de que esta diferencia sea negativa será el margen de estabilidad angular del cohete, como puede observarse en la siguiente tabla.

$\theta$	CP <sub>Ext</sub> Barrowman	CP - CG
40°	382,750861	2,1348618
41°	382,029734	1,4137349
42°	381,342058	0,7260580
43°	380,686717	0,0707173
44°	380,062562	-0,5534380
45°	379,468420	-1,1475793
46°	378,903115	-1,7128849
47°	378,365471	-2,2505289

**Margen de estabilidad angular ( $\theta$ )**

CP<sub>Ext</sub>Barrowman: Distancia del CP desde el cono en milímetros.

Por otro lado, si a los 90° de AOA la diferencia entre la localización del CP y el CG siguiera siendo positiva, entonces quiere decir que el CP no ha llegado a rebasar el lugar donde se encuentra el CG y por lo tanto el cohete será sobreestable.

En cualquier caso, aunque en esta sección solo nos ceñimos al instante en el que el cohete abandona la guía de lanzamiento, debemos tener presente que el margen de estabilidad angular del cohete en cada momento durante el vuelo varía ya que el CG se desplaza hacia el cono mientras el motor va consumiendo su propelente.

Una vez que ya conocemos el margen de estabilidad angular del cohete, necesitamos calcular cual será la velocidad inicial del cohete en función del motor que vayamos a utilizar. Para ello recurriremos a la gráfica de la curva de potencia del motor y calculamos el Empuje medio inicial  $E_i$ .

***El Empuje medio inicial ( $E_i$ ) nada tiene que ver con el empuje medio del motor, ya que sólo tomamos como referencia el empuje real entre los 0.05 seg. y los 0.2 seg. iniciales.***

A partir de las ecuaciones del movimiento del cohete durante la fase de quemado del propelente obtenemos la velocidad ( $V_i$ ) en el instante ( $t_i$ ) de la siguiente forma:

Primero calculamos la constante de proporcionalidad dinámica:

$$K = (\rho \cdot C_d \cdot A_r) / 2$$

Donde:  $\rho$  es la densidad del aire a nivel del mar que es 1,223 Kg/m<sup>3</sup>.  
 $C_d$  es el coeficiente de arrastre, que para un cohete medio su valor es 0,75.  
 $A_r$  es el área de referencia, que es la sección transversal del cohete en la parte que tenga su mayor diámetro en m<sup>2</sup>.

El paso siguiente es calcular las siguientes relaciones de Empuje:

$$q = \sqrt{\frac{E_i - W \cdot g}{K}}$$

$$p = 2 \cdot \frac{\sqrt{(E_i - W \cdot g) \cdot K}}{W}$$

Donde:  $E_i$  es el Empuje medio inicial en los primeros 0,2 sg. (ver curva de potencia del motor).  
 $W$  es el peso total del cohete en Kg. (incluyendo motor y paracaídas)  
 $g$  es la aceleración de la gravedad, cuyo valor es 9,81 m/s<sup>2</sup>

La velocidad inicial del cohete será:

$$V_i = q \cdot \frac{1 - e^{-p \cdot t_i}}{1 + e^{-p \cdot t_i}}$$

Y la aceleración en el instante ( $t_i$ ) será:

$$a_i = V_i / t_i$$

Así pues, conociendo la magnitud de la velocidad del aire lateral, la velocidad inicial del cohete, el ángulo inducido y el margen de estabilidad angular, podremos saber si el cohete será estable en el momento de abandonar la guía de lanzamiento en un día con viento.

Para que el cohete alcance la velocidad requerida para mantener un vuelo estable en un día con viento lateral, necesitamos saber qué longitud debe tener la guía de lanzamiento. Primero determinamos la velocidad mínima requerida para nuestro cohete:

$$V_r \geq V_w / \tan \theta$$

Donde:  $V_r$  es la velocidad requerida para el despegue en m/s.  
 $V_w$  es la velocidad del viento lateral en m/s.  
 $\theta$  es el margen de estabilidad angular mínimo del cohete en ángulos.

La longitud mínima de la guía o rampa de lanzamiento ( $h$ ) en metros será:

$$h = \frac{W}{2K} \cdot \ln \left[ \frac{q^2}{q^2 - V_r^2} \right]$$

**Nota:** La longitud ( $h$ ) se toma a partir de la posición de la abrazadera que esté más cerca del cono del modelo. Si el cohete no dispone de abrazadera, porque va a ser lanzado desde un tubo lanzador, se toma como referencia el centro de gravedad del cohete.

Por ejemplo; si nuestro cohete tiene un margen de estabilidad angular de  $43,11^\circ$ , un peso de 0,109 Kg, y utiliza un motor D7-3 cuyo empuje medio inicial es de 7 N, para un día ventoso de intensidad 6,94 m/s necesitaremos alcanzar una velocidad mínima de 7,41 m/s antes de abandonar la guía de lanzamiento. Así pues, la guía de lanzamiento deberá tener una longitud mayor de 0,568 metros.

**Conclusiones.**

Cuando el cohete abandona la guía de lanzamiento, si el ángulo de ataque es mayor que el margen de estabilidad angular del cohete, éste volará inestable.

Si el cohete tiene un momento de inercia grande, y mantiene una buena aceleración, el cohete puede desarrollar suficiente velocidad para que la Fuerza normal lo devuelva dentro de su margen de estabilidad angular antes de que el ángulo de ataque aumente demasiado, y el vuelo será estable.

Si el cohete tiene un momento de inercia pequeño, y poca aceleración, el cohete girará a favor del viento y volará como un misil de crucero. Lo mismo sucederá cuando el margen de estabilidad angular de este cohete sea mucho mayor que el AOA potencial  $\alpha'$ .

Si el cohete es sobreestable, es decir, tiene un margen de estabilidad excesivo, en un día con mucho viento serpenteará. Esto se conoce como el "Efecto veleta" o "Weathercocking", el cohete apuntará de frente al viento (sotavento) y no llegará a alcanzar la altitud máxima que pudiera alcanzar en un día sin viento.

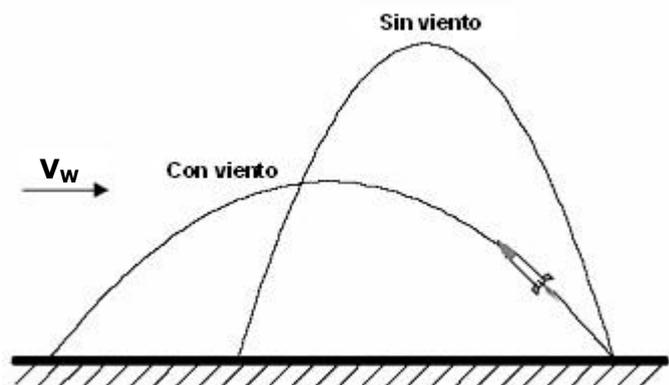


FIGURA 137: Diferentes altitudes alcanzadas.

Si el cohete tiene un momento de inercia grande, y poca aceleración, el cohete puede girar y chocar contra el suelo antes de conseguir suficiente velocidad para alcanzar su estabilidad. Una vez que inicia el giro a sotavento, su momento de giro tiende a mantenerlo en esta dirección.



FIGURA 138: Imágenes de algunos cohetes en vuelo inestable. (Foto: VIDROCK)

Para prevenir vuelos peligrosos, siga estos consejos:

- a) Evite el lanzamiento de un cohete en días de mucho viento.
- b) Utilice una guía o rampa de lanzamiento bastante más larga que la habitual.
- c) Utilice motores de mayor empuje, que den mayor velocidad al despegar.
- d) Disponga de un Margen de estabilidad algo mayor que 1 calibre y menor que toda la longitud del cohete. (2 ó 3 calibres)

**Deformaciones de los modelos en vuelo.**

Debe saber que la tremenda aceleración que sufren los modelos en las primeras etapas del vuelo puede provocar deformaciones en su estructura, dependiendo del material con el que se hayan construido.

Igualmente, esta aceleración sumada a un defecto en la construcción de alguna de las partes del modelo puede provocar la rotura de la estructura del modelo de forma irreparable.

Veamos algunos ejemplos:



FIGURA 139

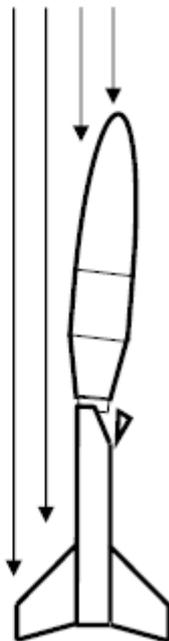


FIGURA 140

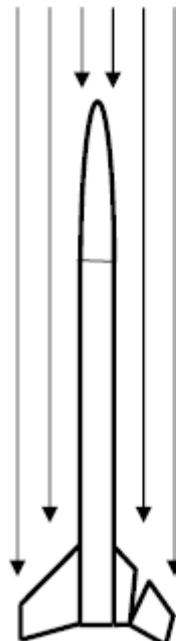


FIGURA 141

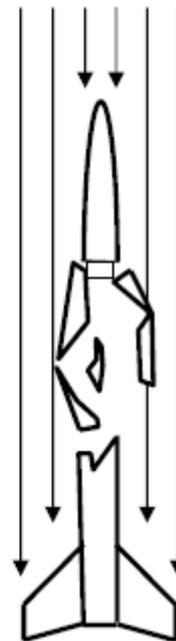


FIGURA 142

FIGURA 139: Deformación en toda la estructura del modelo, debida a las fuerzas aerodinámicas distribuidas sobre el modelo construido con materiales flexibles.

FIGURA 140: Deformación con rotura en la estructura del cuerpo del modelo, debido a un mal ajuste del soporte del cono en el cuerpo.

FIGURA 141: Rotura en la estructura de una aleta del modelo, debido a un defecto de fabricación en la misma.

FIGURA 142: Rotura total en la estructura del cuerpo del modelo, debido a un mal diseño en la construcción del modelo, mala manipulación del motor, o un mal funcionamiento del motor. Esto se conoce como "Cato".



FIGURA 143: Imagen de un "Cato". (Foto: VIDROCK)

### Ecuación del movimiento de los cohetes.

En esta sección se muestran las ecuaciones básicas del movimiento de un cohete en sus dos primeras fases, la de impulso y la de inercia hasta el apogeo.

**Primer método.**

Un método sencillo de calcular la altitud que alcanzará nuestro cohete consiste en tomar nota del Empuje medio del motor **E** en Newtons (ver página 15), el Impulso del motor **I** en Ns (ver tablas en página 15), y de la masa promedio del cohete en Kg, esto es, la media entre el peso del cohete con el motor sin encender y la masa del cohete después de agotar el motor su combustible.

No entramos aquí en complicados cálculos matemáticos que serían necesarios por ejemplo cuando se ha de tener en cuenta la influencia del viento lateral, la variación del momento de inercia del cohete conforme quema su propelente, el desplazamiento horizontal, el arrastre aerodinámico (drag), etc. Aunque Vd. debe tener en cuenta que todos estos aspectos influyen sobre la altitud que realmente puede alcanzar un cohete, sirvan estas ecuaciones como una guía rápida para determinar la velocidad del cohete en el tiempo de quemado del propelente y la altitud máxima que puede alcanzar en condiciones normales.

*Fase de impulso:*

Dado que el Impulso es igual a la variación del momento de inercia, podemos expresar la velocidad del cohete en esta fase como:

$$I = m_{pro} \cdot \Delta V$$

Dado que la velocidad inicial  $V_0=0$  podemos decir que:

$$I = m_{pro} \cdot V_f$$

Despejando la velocidad final  $V_f$  obtenemos que:

$$V_f = I / m_{pro}$$

Observe que ya en esta fase el cohete modifica su masa, por eso se utiliza la masa promedio.

Para calcular la altitud alcanzada en esta fase, utilizaremos la expresión:

$$d_i = V_{pro} \cdot t_i \quad \text{Donde:} \quad V_{pro} = V_f / 2 \quad \text{y} \quad t_i = I / E$$

Observe que el tiempo  $t_i$  es el tiempo de quemado del combustible del motor.

*Fase de desplazamiento por inercia:*

Una vez que el motor ha agotado su combustible, el cohete continúa ascendiendo por inercia hasta que poco a poco se va parando hasta alcanzar la altitud máxima.

El tiempo de desplazamiento del cohete en esta fase, corresponde a la expresión:

$$t_d = V_f / g \quad \text{Donde } g \text{ es la aceleración de la gravedad. } g=9,81 \text{ m/s}^2$$

Ahora, como antes, aplicamos la siguiente ecuación para determinar la distancia recorrida en esta fase:

$$d_d = V_{pro} \cdot t_d$$

Otra forma de calcular esta distancia consiste en considerar la *conservación de la energía*, es decir, considerando que la energía cinética del cohete en el momento de apagarse el motor se convierte en energía potencial gravitatoria de forma que:

$$\frac{1}{2} \cdot m_{pro} \cdot V_f^2 = m_{pro} \cdot g \cdot d_d$$

Despejando obtenemos que:

$$d_d = V_f^2 / 2g$$

Finalmente, la altitud alcanzada por el cohete será:

$$d_T = d_i + d_d$$

**Segundo método.**

Otro método un poco más complejo es el que tiene en cuenta la resistencia del aire.

Términos y coeficientes utilizados en las expresiones:

- W<sub>r</sub>** Peso del cohete sin el motor en Kg.
- W<sub>e</sub>** Peso del motor del cohete incluyendo el propelente en Kg.
- W<sub>p</sub>** Peso del propelente en kg.
- a** Aceleración del cohete en m/s<sup>2</sup>.
- F** Fuerza de ascenso.
- g** Aceleración de la gravedad terrestre (9,81 m/s<sup>2</sup>).
- A<sub>r</sub>** Area de la sección transversal del cohete en su mayor diámetro del cuerpo en m<sup>2</sup>.
- C<sub>d</sub>** Coeficiente de arrastre (0,75 para un cohete medio).
- ρ** Densidad del aire al nivel del mar (1,223 Kg/m<sup>3</sup>).
- t** Tiempo en segundos.
- E** Empuje medio del motor en Newtons.
- I** Impulso del motor en Newtons·segundo.
- V<sub>t</sub>** Velocidad del cohete en el instante t en m/s.
- h<sub>b</sub>** Altitud alcanzada al agotar el propelente en metros.
- h<sub>c</sub>** Altitud alcanzada por inercia desde h<sub>p</sub> hasta el apogeo en metros.
- h<sub>t</sub>** Altitud total en metros (h<sub>b</sub> + h<sub>c</sub>).

Peso del cohete en la fase de impulso:	<b>W<sub>b</sub> = W<sub>r</sub> + W<sub>e</sub> - W<sub>p</sub>/2</b>
Peso del cohete en la fase de inercia:	<b>W<sub>c</sub> = W<sub>r</sub> + W<sub>e</sub> - W<sub>p</sub></b>
Fuerza de la gravedad en fase de impulso:	<b>F<sub>b</sub> = W<sub>b</sub> · g</b>
Fuerza de la gravedad en fase de inercia:	<b>F<sub>c</sub> = W<sub>c</sub> · g</b>
Coeficiente de arrastre del aire:	<b>k = 1/2 · ρ · C<sub>d</sub> · A<sub>r</sub></b>
Resistencia al aire en Kg·m/s <sup>2</sup> :	<b>ω = k · V<sup>2</sup></b>
Tiempo de quemado del propelente en seg.:	<b>ψ = I / E</b>

*Velocidad en la fase de impulso:*

$$q^2 = \frac{E - W_b \cdot g}{k} \Rightarrow q = \sqrt{\frac{E - W_b \cdot g}{k}}$$

$$p = \frac{2 \cdot k \cdot q}{W_b} \Rightarrow p = 2 \cdot \frac{\sqrt{(E - W_b \cdot g) \cdot k}}{W_b}$$

$$V_t = q \cdot \frac{1 - e^{-p \cdot t}}{1 + e^{-p \cdot t}}$$

Velocidad en el instante **t** durante la fase de impulso.

$$V_\psi = q \cdot \frac{1 - e^{-p \cdot \psi}}{1 + e^{-p \cdot \psi}}$$

Velocidad en el instante de agotar el propelente.

*Altitud en la fase de impulso:*

$$h_{bt} = \frac{W_b}{2 \cdot k} \cdot \ln \left[ \frac{q^2}{q^2 - V_t^2} \right]$$

Altitud alcanzada en el instante **t** durante la fase de impulso.

$$h_b = \frac{W_b}{2 \cdot k} \cdot \ln \left[ \frac{q^2}{q^2 - V_\psi^2} \right]$$

Altitud alcanzada en el instante de agotar el propelente.

Altitud en la fase de inercia:

$$q_c^2 = \frac{-W_c \cdot g}{k} \quad ; \quad q_a^2 = \frac{W_c \cdot g}{k} \quad \Rightarrow \quad q_a = \sqrt{\frac{W_c \cdot g}{k}}$$

$$h_c = \frac{W_c}{2 \cdot k} \cdot \ln \left[ \frac{q_c^2 - V_\psi^2}{q_c^2} \right] \quad \text{Altitud alcanzada en la fase de inercia hasta el apogeo.}$$

$$t_c = \frac{W_c}{k \cdot q_a} \cdot \tan^{-1} \left[ \frac{V_\psi}{q_a} \right] \quad \text{Tiempo transcurrido desde } V_\psi \text{ hasta el apogeo (V=0).}$$

### Geometría de los paracaídas semi-hemisféricos planos.

Quizás la forma más efectiva para un paracaídas es la de un hemisferio. Muchos modelistas recordarán que ésta era la forma que tenían los paracaídas usados en los programas espaciales que depositaban con éxito las cargas útiles en el océano para finalmente desplegar los operativos necesarios de recuperación en el mar. Aunque los paracaídas hemisféricos funcionan muy bien, pueden ser complejos de fabricar, pues la forma que tienen es tridimensional. La fabricación de una forma hemisférica requiere que el modelista corte pedazos de material en formas curvas especiales, también llamados segmentos, los cuales cuando están unidos entre sí forman un hemisferio.

Afortunadamente, los paracaídas hemisféricos no son realmente necesarios en la mayoría de los proyectos del modelista espacial. De hecho, los paracaídas disponibles habitualmente son fabricados con un estándar bidimensional (plano), con figuras geométricas tales como círculos, hexágonos u octógonos. Cuando las dimensiones de éstos están acordes al peso del modelo realizan un buen trabajo, aproximándose bastante al de un paracaídas hemisférico. Lo más importante es que éstos paracaídas, por su naturaleza plana, son fáciles de manipular por el modelista.

En esta sección estudiaremos la geometría que caracteriza al paracaídas convencional de dos dimensiones, es decir, el paracaídas plano que la mayoría de los modelistas utilizan como método de recuperación hoy día. Desarrollaremos una solución general que permita calcular el tamaño (diámetro) del paracaídas necesario para proporcionar un área mínima requerida de pabellón. Esta solución es perfectamente válida para un paracaídas circular, hexagonal u octogonal, o para cualquier otro paracaídas en forma poligonal regular.

La velocidad de descenso dependerá del área del paracaídas; una vez que sepamos el área mínima requerida, conocer un poco de la geometría nos ayudará a saber qué tamaño (diámetro) necesitamos para nuestro paracaídas.

El área mínima necesaria de un paracaídas, para una velocidad de descenso segura en función de la masa total (peso) del modelo, viene dada por la siguiente fórmula:

$$A = \frac{2 \cdot g \cdot m}{\rho \cdot C_d \cdot v^2}$$

- Donde: **g**: Es la aceleración de la gravedad terrestre, que es de 9.81 m/s<sup>2</sup>  
**m**: Es la masa de todo el conjunto (paracaídas, cohete y motor gastado) (kg).  
**ρ**: Es la densidad del aire por debajo de los 1000 mts., que es de 1,225 kg/m<sup>3</sup>  
**C<sub>d</sub>**: Es el coeficiente de arrastre del paracaídas en función de su forma. Se estima un valor de 0.75 para un paracaídas en forma semi-hemisférica plana.  
**v**: Es la velocidad de descenso para todo el conjunto que el modelista considere segura para su modelo. (Entre 3.35 m/s y 4.26 m/s)

Con ésta ecuación y una buena calculadora, el modelista puede conocer fácilmente el área mínima requerida del paracaídas para una misión y/o para un modelo concreto. Para determinar su tamaño (diámetro), tenemos que generar una expresión que relacione el área del paracaídas con el tamaño y podamos así considerar la forma que vamos a elegir para el paracaídas, por lo que el diámetro del mismo determinará el área de la superficie disponible.

**Geometría del paracaídas circular plano.**

Calcular las dimensiones de un paracaídas plano circular es bastante sencillo. Dada la siguiente figura:

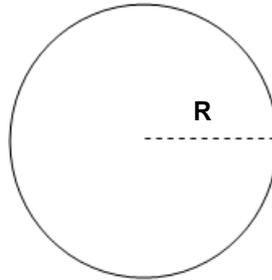


FIGURA 144

El área de un paracaídas circular plano es:

$$A_c = \pi \cdot R^2$$

Dado que  $r = d/2$  , y sustituyendo en la expresión anterior, obtenemos que para un área ya conocida de un paracaídas plano circular, el diámetro es:

$$d = 2 \cdot \sqrt{\frac{A_c}{\pi}}$$

Y el área de un paracaídas plano circular para un diámetro conocido:

$$A_c = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

Para propósitos prácticos, podríamos necesitar calcular el área requerida para un paracaídas en un modelo concreto a partir de la ecuación de la velocidad de descenso. Una vez que conocemos el área, podemos utilizar la expresión anterior para determinar el diámetro requerido para nuestro paracaídas plano circular. Sustituyendo estas expresiones en la primera ecuación, dada una velocidad de descenso deseable, obtenemos que:

$$d = \sqrt{\frac{8 \cdot g \cdot m}{\rho \cdot C_d \cdot v^2 \cdot \pi}}$$

**Geometría del paracaídas poligonal.**

Delinee un polígono de  $n$  lados en el interior de una circunferencia. En el polígono inscrito (FIGURA 145), los vértices deben ser tangentes a la circunferencia, y la distancia desde el centro hacia cualquiera de sus vértices debe ser igual al radio de la circunferencia  $R$ . En este caso hemos decidido inscribir un polígono octogonal.

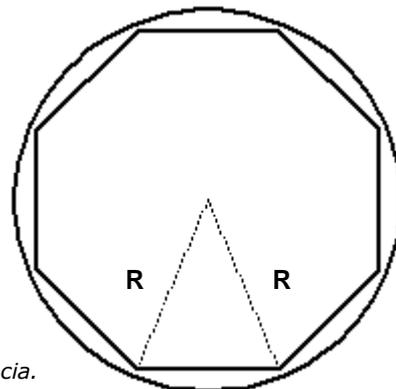


FIGURA 145: Polígono inscrito en una circunferencia.

Como se puede observar en la ilustración anterior, las dos líneas punteadas tienen origen en el centro de la circunferencia y terminan en dos vértices contiguos que, junto

con el lado del polígono como base, conforman un triángulo isósceles. Si trazamos todas las líneas entre el centro de la circunferencia y cada uno de los vértices, podemos ver que el polígono octogonal está formado por ocho triángulos isósceles idénticos. Por extensión, cualquier polígono regular de  $n$  lados estará formado por  $n$  triángulos idénticos, correspondientes cada uno a cada lado del mismo.

También podemos ver que el área del polígono es justamente la suma del área de todos los triángulos que conforman el polígono. En nuestro caso:

$A_o = 8 \cdot A_T$ , donde  $A_T$  es el área de un triángulo y  $A_o$  es el área total del octógono.

Generalizando, para cualquier polígono  $p$  regular de  $n$  lados, la expresión es:

$$A_p = n \cdot A_T$$

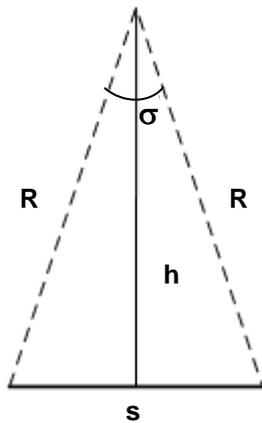


FIGURA 146: El triángulo elemental

Con éste concepto ya establecido, un poco de geometría nos permitirá calcular las dimensiones de nuestro paracaídas. Para hacerlo, simplemente necesitamos calcular el área del triángulo elemental que conforma el polígono, y entonces haremos uso de la fórmula anterior para calcular el área total.

A partir del triángulo elemental (FIGURA 146) calculamos su área. Sabemos que el área de éste triángulo es:

$$A_T = \frac{1}{2} s \cdot h = \frac{s \cdot h}{2}$$

Para calcular el valor de  $h$  podríamos recurrir al teorema de Pitágoras, pero sería impreciso si desconocemos la medida exacta de la base  $s$  de éste triángulo. Por lo que tendremos que manipular ésta expresión para que pueda ser expresada en términos del radio  $R$ . Para ello, haremos uso de la trigonometría.

Como hemos dicho anteriormente, un polígono regular de  $n$  lados estará formado por  $n$  triángulos elementales idénticos. Todos los ángulos  $\sigma$  de los  $n$  triángulos elementales suman  $360^\circ$ , luego  $\sigma = 360^\circ/n$ . Para nuestro propósito, nos interesaremos en el ángulo formado entre  $R$  y  $h$  que es justamente la mitad de  $\sigma$ . Recuerde que estamos trabajando sobre un triángulo isósceles), así pues, su valor es  $360^\circ/2n$ , o  $180^\circ/n$  una vez reducido.

Así pues, nos quedamos con el siguiente triángulo:

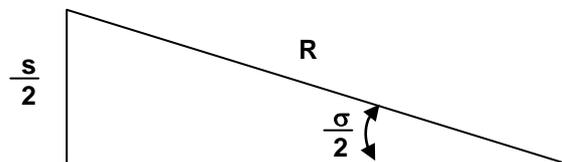


FIGURA 147

Dada la relación trigonométrica existente de un ángulo con sus lados adyacente y opuesto en un triángulo rectángulo, podemos determinar el valor de  $s$  de la forma:

$$\frac{s/2}{R} = \frac{s}{2R} = \text{Seno} \left[ \frac{\sigma}{2} \right] = \text{Seno} \left[ \frac{180^\circ}{n} \right] \quad s = 2R \cdot \text{Seno} \left[ \frac{180^\circ}{n} \right]$$

Y consecuentemente:

$$\frac{h}{R} = \text{Coseno} \left[ \frac{180^\circ}{n} \right] \quad h = R \cdot \text{Coseno} \left[ \frac{180^\circ}{n} \right]$$

Dado que el área del triángulo es  $A_T = sh/2$ , hacemos la sustitución de "s" y de "h":

$$A_T = \frac{2R \cdot \text{Seno}\left[\frac{180^\circ}{n}\right] R \cdot \text{Coseno}\left[\frac{180^\circ}{n}\right]}{2} = R^2 \cdot \text{Seno}\left[\frac{180^\circ}{n}\right] \cdot \text{Coseno}\left[\frac{180^\circ}{n}\right]$$

Por otro lado, dada la relación trigonométrica del ángulo doble cuya expresión es:  $\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cos \alpha$ , es decir:

$$\text{Seno}\left[\frac{360^\circ}{n}\right] = 2 \cdot \text{Seno}\left[\frac{180^\circ}{n}\right] \cdot \text{Coseno}\left[\frac{180^\circ}{n}\right]$$

Aplicando esta expresión a la expresión del  $A_T$ , obtenemos que:

$$A_T = \frac{R^2}{2} = 2 \cdot \text{Seno}\left[\frac{180^\circ}{n}\right] \cdot \text{Coseno}\left[\frac{180^\circ}{n}\right] = \frac{R^2}{2} \text{Seno}\left[\frac{360^\circ}{n}\right]$$

Sustituyendo este resultado en nuestra expresión para el área del polígono " $A_P$ ,"

$$A_P = \frac{nR^2}{2} \text{Seno}\left[\frac{360^\circ}{n}\right]$$

Ahora tenemos una expresión del área del polígono, expresado en términos del radio **R**, que podemos utilizar para calcular el área de cualquier polígono regular de **n** lados. Normalmente medimos el paracaídas en base a su diámetro y no a su radio, por lo que podemos transformar la expresión anterior en función del diámetro de la siguiente forma:

Dado que  $R = d/2$ , donde "d" es el diámetro del paracaídas poligonal:

$$A_P = \frac{n \left(\frac{d}{2}\right)^2}{2} \text{Seno}\left[\frac{360^\circ}{n}\right] = \frac{nd^2}{8} \text{Seno}\left[\frac{360^\circ}{n}\right]$$

Así pues, el área de un paracaídas poligonal de **n** lados, dado un diámetro conocido es:

$A_P = \frac{nd^2}{8} \text{Seno}\left[\frac{360^\circ}{n}\right]$	Para un paracaídas hexagonal, $A_H \cong (0.6495)d^2$
	Para un paracaídas octogonal, $A_O \cong (0.7071)d^2$

Y por consiguiente, el diámetro de un paracaídas poligonal de **n** lados, dada un área ya conocida es:

$d = \sqrt{\frac{2A_P}{n \cdot \text{Seno}\left[\frac{360^\circ}{n}\right]}}$	Para un paracaídas hexagonal, $d \cong 1.2408\sqrt{A_P}$
	Para un paracaídas octogonal, $d \cong 1.1892\sqrt{A_P}$

La razón de que el coeficiente multiplicador para un paracaídas octogonal sea menor que para un paracaídas hexagonal en las expresiones anteriores, se debe a que el área que cubre un paracaídas octogonal es mayor que el que cubre uno hexagonal para un mismo radio **R**, por lo que para que un paracaídas hexagonal cubra la misma superficie que un paracaídas octogonal, necesitaría tener un diámetro más grande.

En propósitos prácticos, podríamos necesitar calcular el área requerida para un paracaídas en un modelo concreto a partir de la ecuación de la velocidad de descenso. Una

vez que conocemos el área, podemos utilizar la expresión anterior para determinar el diámetro requerido para nuestro paracaídas poligonal.

Completamos ésta expresión definitivamente, sustituyendo la ecuación para la velocidad de descenso dado  $A_p$  con lo que obtenemos que:

$$d = 2 \cdot \sqrt{\frac{4g \cdot m}{n \cdot \rho \cdot C_d \cdot v^2 \cdot \text{Seno} \left[ \frac{360^\circ}{n} \right]}}$$

### Ecuación del movimiento en el descenso con paracaídas.

La ecuación del movimiento cuando se ha abierto el paracaídas la podemos escribir de la forma:

$$\frac{dv}{dt} = -g + \frac{k}{m} v^2$$

Donde **k** es la constante de proporcionalidad según la forma del paracaídas ya estudiada anteriormente.

**g** es la constante de la aceleración de la gravedad terrestre (9.81 m/s<sup>2</sup>).

**v** es la velocidad de descenso (m/s).

**m** es la masa de todo el conjunto (kg).

Integramos la ecuación del movimiento para obtener la velocidad **v** del móvil en cualquier instante **t**. Las condiciones iniciales son: **v<sub>0</sub>** es la velocidad del paracaidista en el instante **t<sub>0</sub>** en el que abre el paracaídas:

$$\int_{v_0}^v \frac{dv}{-g + \frac{k}{m} v^2} = \int_{t_0}^t dt$$

Para resolver esta integral se hace el cambio **v = z · v<sub>i</sub>**.

$$\frac{v_i}{g} \int_{z_0}^z \frac{dz}{z^2 - 1} = \frac{v_i}{2g} \left( \int_{z_0}^z \frac{dz}{z-1} - \int_{z_0}^z \frac{dz}{z+1} \right) = \frac{v_i}{2g} \ln \frac{(z-1)(z_0+1)}{(z+1)(z_0-1)}$$

Se deshace el cambio y se despeja **v** en función del tiempo (**t-t<sub>0</sub>**), Se llega después de algunas operaciones a la expresión:

$$v = -v_i \frac{(v_0 - v_i) \exp\left(\frac{g}{v_i}(t - t_0)\right) + (v_0 + v_i) \exp\left(\frac{-g}{v_i}(t - t_0)\right)}{(v_0 - v_i) \exp\left(\frac{g}{v_i}(t - t_0)\right) - (v_0 + v_i) \exp\left(\frac{-g}{v_i}(t - t_0)\right)}$$

Podemos obtener también la expresión de la posición del móvil en función de la velocidad, haciendo un cambio de variable:

La ecuación del movimiento  $\frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dx} \frac{dx}{dt} = \frac{dv}{dx} v$  en:

$$v \frac{dv}{dx} = -g + \frac{k}{m} v^2$$

Que se puede integrar de forma inmediata:

$$\int_{v_0}^v \frac{v dv}{-g + \frac{k}{m} v^2} = \int_{x_0}^x dx$$

La altitud  $x$  del modelo de cohete en función de su velocidad de descenso  $v$  es:

$$x - x_0 = \frac{v_i^2}{2g} \ln \frac{v^2 - v_i^2}{v_0^2 - v_i^2}$$

Despejando  $v$  en la expresión anterior, obtenemos que la velocidad en función de la posición  $x$  del modelo de cohete es:

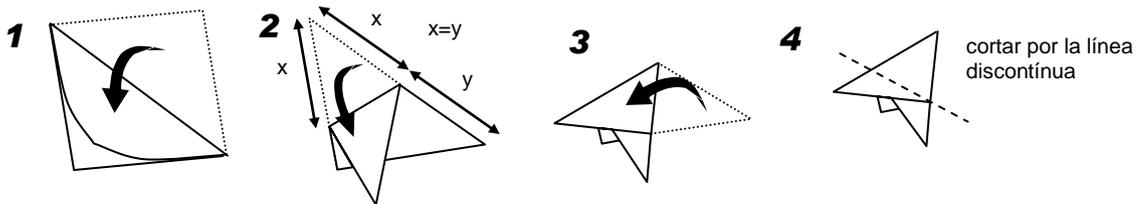
$$v^2 = v_i^2 + (v_0^2 - v_i^2) \exp\left(-\frac{2g}{v_i^2}(x_0 - x)\right)$$

**Construcción de un paracaídas poligonal.**

Para conocer las dimensiones más adecuadas que debe tener nuestro paracaídas de forma que en función del peso del modelo éste descienda a una velocidad segura, consulte la tabla en el Anexo I (ver página 98)

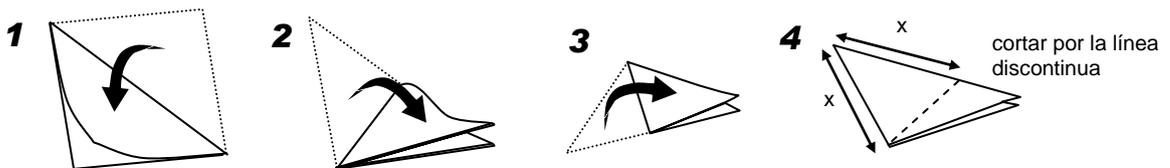
**Paracaídas hexagonal.**

Para construir un paracaídas hexagonal, la manera más sencilla consiste en recortar un cuadrado con el material que vayamos a utilizar para el paracaídas. Seguidamente plegaremos este cuadrado de la siguiente forma:



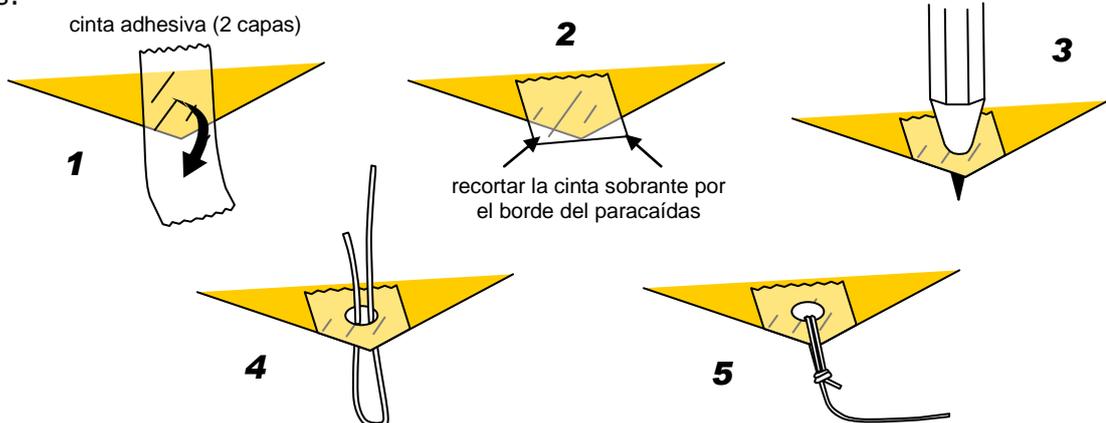
**Paracaídas Octogonal.**

Para construir un paracaídas octogonal, la manera más sencilla consiste en recortar un cuadrado con el material que vayamos a utilizar para el paracaídas. Seguidamente plegaremos este cuadrado de la siguiente forma:



**Forma de poner las cuerdas.**

Para poner las cuerdas en un paracaídas pequeño, basta con seguir los siguientes pasos:



## Construcción de un paracaídas semi-elipsoidal.

### Introducción.

Como hemos dicho anteriormente, es posible que la forma más efectiva para un paracaídas sea la de un pabellón hemisférico. Y que la eficacia aerodinámica de un paracaídas depende básicamente de su forma.

El paracaídas, ya sea hemisférico o semi-hemisferio plano, tienen un efecto significativo sobre el coeficiente de arrastre  $C_d$ . La diferencia más significativa entre el coeficiente de arrastre de un paracaídas semi-hemisférico plano y el de un paracaídas hemisférico, radica principalmente sobre el área total que cubre el pabellón. A simple vista, un pabellón semi-hemisférico plano puede parecer que emplee menos tela que el tipo hemisférico para obtener la misma eficacia aerodinámica, sin embargo es justo lo contrario. Lo cual es una consideración importante a tener en cuenta para los modelos de cohete, donde la masa y el volumen deben reducirse al mínimo.

Los paracaídas hemisféricos se construyen con diferentes tipos de tela. La permeabilidad del tejido que se utilice en la construcción, es decir, la densidad de hilos utilizados para la fabricación de la tela, influye en el flujo de aire que pasa a través del pabellón del paracaídas. Aunque normalmente la porosidad de una tela no influye demasiado en el coeficiente de arrastre  $C_d$ , siempre que la velocidad de caída libre en el momento de abrirse el paracaídas no sea excesivamente alta.

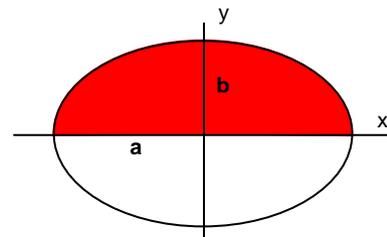
EL coeficiente de arrastre de un paracaídas depende de la velocidad de caída en el momento de desplegarse. A mayor velocidad, menor es el  $C_d$ , ya que la tensión de la carga sobre las cuerdas afecta a la forma del paracaídas al desplegarse, reduciendo el área del pabellón y reduciendo por tanto la eficacia aerodinámica del paracaídas.

El área de inflado (y por consiguiente sus dimensiones), y la forma del pabellón, dependen de la longitud de las cuerdas  $L$  y el diámetro del pabellón  $D$ . Cuanto mayor sea la longitud de las cuerdas, mayor será el  $C_d$  y viceversa. Este efecto es más pronunciado cuando la relación  $L/D$  es menor a 0.5, pero es menos significativo cuando la relación  $L/D$  es mayor que 1.

### Diseño del paracaídas semi-elipsoidal.

El diseño que aquí presentamos es el de un paracaídas *real*, cuya forma de pabellón es muy parecida al de un hemisferio. Se trata de un pabellón semi-elipsoidal diseñado por Richard Nakka, que es completamente diferente al de los paracaídas semi-hemisféricos planos que dependen de la longitud de sus cuerdas para formar un pabellón parecido al de un hemisferio. Esencialmente, éste paracaídas semi-elipsoidal proporciona el mismo coeficiente de arrastre  $C_d$  que un paracaídas hemisférico.

La relación de aspecto de la elipse que vamos a emplear será la de  $b/a = 0.707$ , para un paracaídas de 60 cm de diámetro.



$$\frac{x^2}{a} + \frac{y^2}{b} = 1$$

FIGURA 148: Ecuación de la elipse

### Materiales necesarios.

- Cuerda de nylon trenzado de 1,27 mm. de grosor.
- Tela 100% nylon de dos colores.
- Papel de seda.
- Cinta de nylon de 1 cm. de ancho.
- Hilo y máquina de coser o aguja.

El paracaídas estará compuesto de doce segmentos o paneles que cortaremos individualmente con tela de seda de diferentes colores. El patrón de corte de los segmentos ha sido calculado para que, al coserlos unos con otros, nuestro paracaídas tenga una forma semi-elíptica.

Comenzaremos por copiar el patrón de corte de la página 99 en papel con las medidas indicadas. Haremos un patrón para cada segmento, de forma que al cortar la tela dejaremos un margen de 2 cm en cada borde. Este margen ya está incluido en el dibujo del patrón.

El siguiente paso es cortar doce trozos de tela de nylon del mismo tamaño que los patrones, seis de color rojo y seis de color blanco. Seguidamente fijamos cada patrón a cada trozo de tela mediante alfileres y cortamos la tela por el borde del patrón.

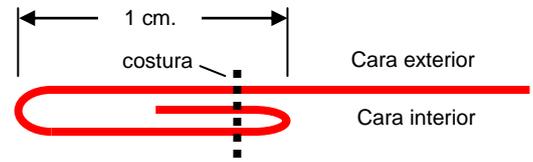


FIGURA 149

Una vez que hemos cortado los doce segmentos, procedemos a coser a máquina todos los bordes de cada uno (FIGURA 149).

Este paso sirve para que los bordes de cada segmento no se deshilachen o se deshagan cuando se cosan entre sí, unos con otros. Además refuerza la unión entre los segmentos y se reparte mejor la tensión entre las costuras. Esto bien lo sabe mi abuela que fue costurera.

Cada segmento nos debe quedar de la siguiente forma:



FIGURA 150

Ahora cortaremos seis trozos de cinta de nylon de unos 90 cm. de longitud que servirán de refuerzo entre los segmentos, y coseremos entre sí todos los segmentos sobre las tiras de cinta (FIGURA 151).

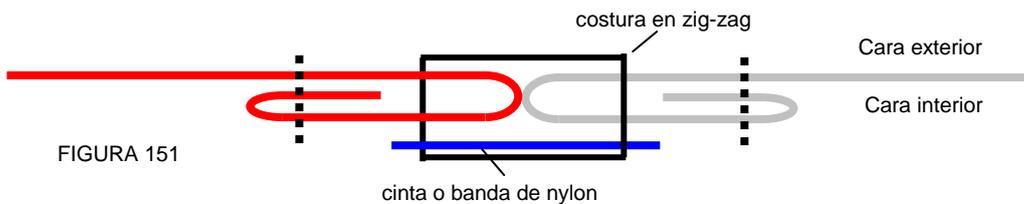


FIGURA 151

Al coser los bordes de cada segmento, en el extremo que va hacia la punta de cada uno de ellos, nos habrá quedado un borde de 2 cm. de costura. Así que debemos tenerlo presente cuando empecemos a coser los segmentos entre sí, teniendo la precaución de dejar 7 cm. de separación entre los extremos opuestos de cada segmento para que se cierre en un círculo central (FIGURA 152).

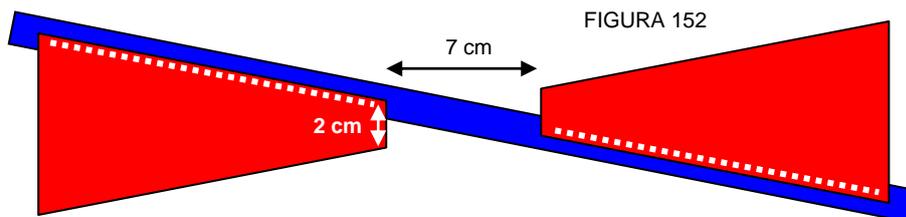


FIGURA 152

Una vez cosidos todos los segmentos entre sí, preparamos dos círculos de tela para cubrir el círculo central del pabellón, de 8 cm. de diámetro.

Igual que hemos hecho con cada segmento, coseremos los bordes de cada círculo para evitar que se deshilache el nylon.



FIGURA 153: Discos para cubrir el orificio central del pabellón

Ahora cosemos ambos círculos, uno por la parte superior y otro por la parte interior, al pabellón del paracaídas que hemos formado al unir todos los segmentos, de forma que queden centrados en el orificio central del pabellón.

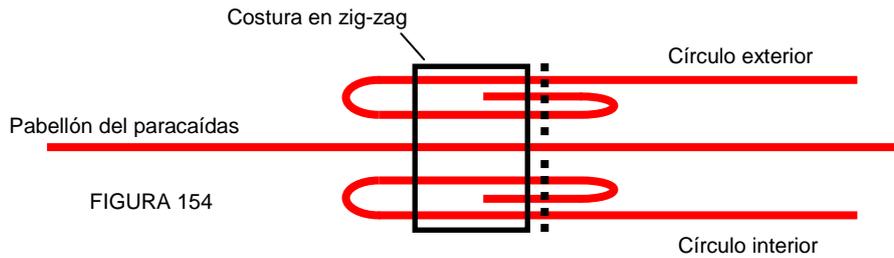


FIGURA 154

Finalmente cortamos doce cuerdas de nylon de 80 cm. de longitud cada una, y las cosemos a los extremos de las cintas.



FIGURA 152: El paracaídas terminado.  
Fotos e imágenes originales de Richard Nakka.

### Construcción de un goniómetro manual.

Un goniómetro es un dispositivo medidor de ángulos. Este dispositivo se utiliza en las estaciones de seguimiento para medir el ángulo de elevación y el acimut para posteriormente calcular la altitud alcanzada por un cohete mediante las técnicas del Método trigonométrico.

Los goniómetros son aparatos de precisión y caros de adquirir, por esta razón aquí les mostramos la forma de construir un sencillo goniómetro manual que nos permitirá medir únicamente el ángulo de elevación, suficiente para poder calcular la altitud alcanzada por el cohete mediante la "Técnica del primer método trigonométrico".

#### Materiales necesarios.

- Una tabla de madera de ocume o contrachapado de 8 mm.
- Un disco de tipo CD-ROM y pegatina para CDs.
- Una lámina de plástico o PVC semirrígido.
- Una lima y papel de lija de diferentes grosores.
- Un pasador de 3 mm diámetro y al menos 1,5 cm de largo.
- Una broca de 3 mm. diámetro y berbiquí o mini taladro.

- Dos arandelas con orificio de 3 mm.
- Segueta.
- Cutter.
- Pegamento de contacto.

Lo primero es hacer un sencillo soporte con la madera de ocume o contrachapado de 8 mm cortándola con la segueta.

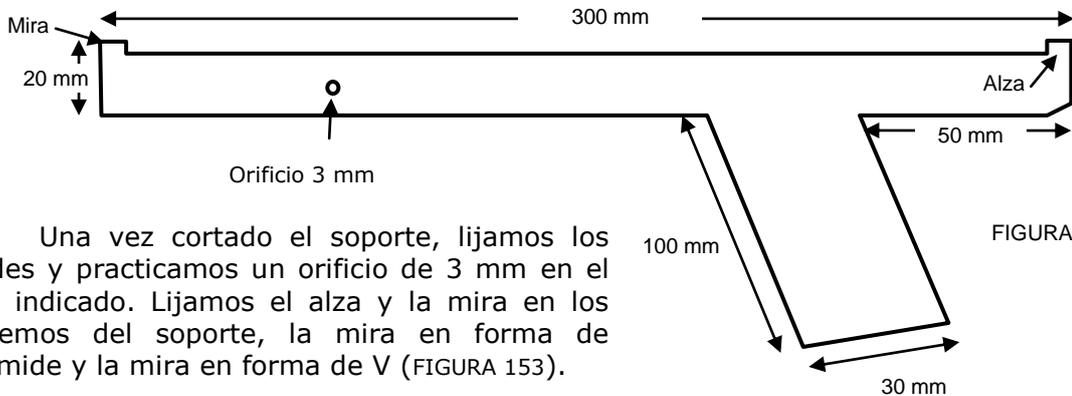


FIGURA 153

Una vez cortado el soporte, lijamos los bordes y practicamos un orificio de 3 mm en el sitio indicado. Lijamos el alza y la mira en los extremos del soporte, la mira en forma de pirámide y la mira en forma de V (FIGURA 153).



FIGURA 154

Seguidamente con la lima rebajamos el soporte de madera a partir de unos 30 mm desde el mango, hasta poco antes de llegar al orificio, para acoplar el portador de ángulos. (FIGURA 155).

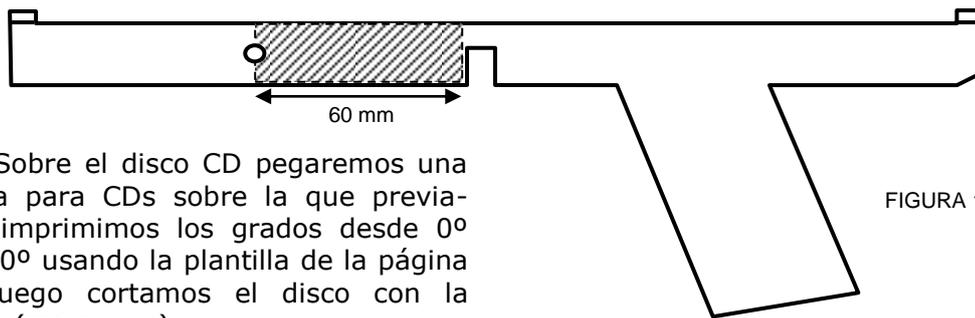


FIGURA 155

Sobre el disco CD pegaremos una etiqueta para CDs sobre la que previamente imprimimos los grados desde 0° hasta 90° usando la plantilla de la página 100. Luego cortamos el disco con la segueta (FIGURA 156).

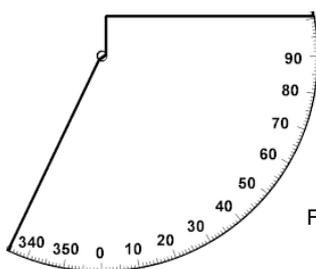


FIGURA 156

Introducimos este portador de ángulos en el rebaje del soporte y lo pegamos bien con pegamento de contacto, procurando que el centro imaginario del disco coincida con el orificio practicado en el soporte de forma que éste sea el centro del disco (FIGURA 157).

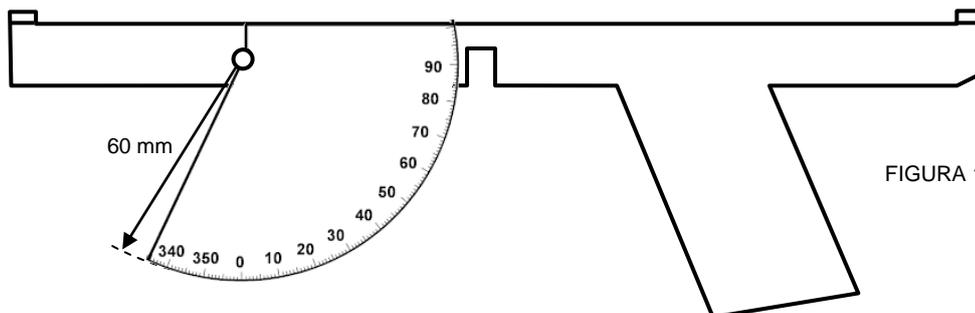


FIGURA 157

Cuando esté bien pegado el portador de ángulos en el rebaje del soporte, introducimos el pasador por el orificio. Seguidamente preparamos el indicador con el plástico semirígido. Para ello recortamos el plástico con el cutter de la siguiente forma:

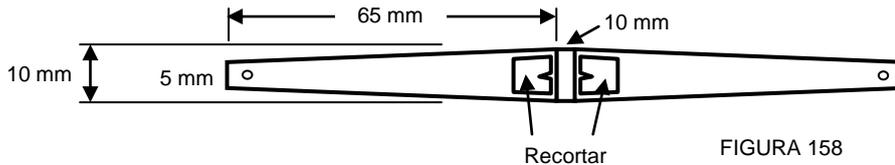


FIGURA 158

Doblamos el indicador y lo acoplamos al soporte por el pasador, y le pegamos un lastre, de forma que oscile como un péndulo libremente (FIGURA 159).

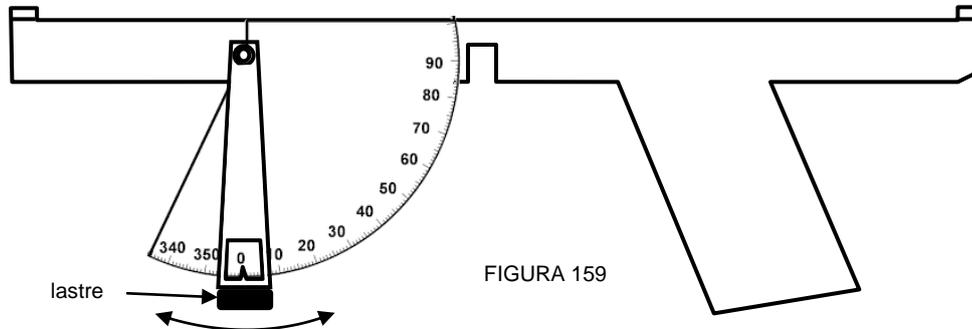


FIGURA 159

Finalmente, ponemos las arandelas en el pasador y las fijamos con pegamento de contacto sin apretar sobre el indicador, de forma que el indicador se mueva sin rozamiento.



FIGURA 160: Midiendo el ángulo de elevación del cohete.

El seguimiento del cohete se realiza estirando el brazo y apuntando hacia el mismo durante su ascenso. Justo dejamos de seguirlo cuando llega a su apogeo. Seguidamente tomamos nota del ángulo que marque el indicador. Le recomiendo que tenga a un ayudante a su lado que realice la lectura del ángulo.

**Construcción de un anemómetro casero.**

Un anemómetro es un aparato de precisión que sirve para medir la velocidad del viento en el sitio elegido para realizar el lanzamiento de un cohete. En esta sección explicaremos la forma de construir un anemómetro casero de precisión y de bajo coste.

**Materiales necesarios.**

- 3 semiesferas de plástico pequeñas, de las que se dan en expendedores de regalos sorpresa.
- 1 tubo de cartón.
- 1 tapón de spray, de diámetro un poco mayor que el tubo de cartón.
- 1 motor eléctrico pequeño de los de 6v.
- 1 velocímetro digital para bicicletas que admita cualquier radio de rueda.
- Cables.
- Tornillos y tuercas.
- Pegamento de contacto.

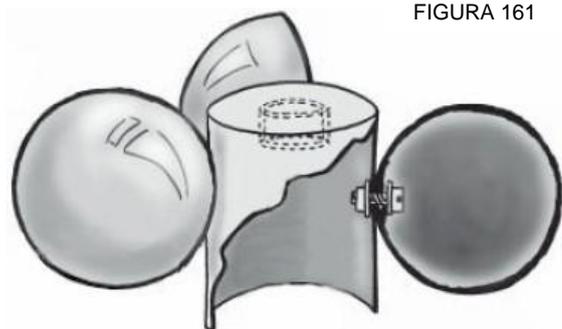


FIGURA 161

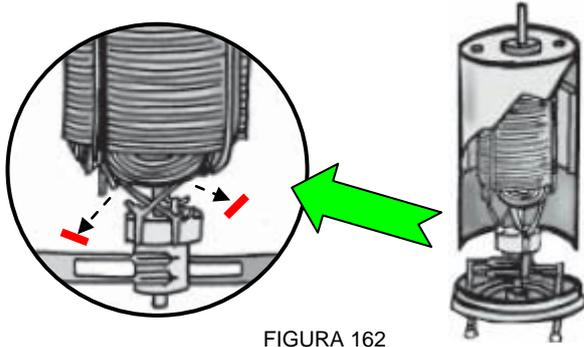


FIGURA 162

Para fabricar el rotor perforamos las tres semiesferas por un lado y en el lateral del tapón practicamos tres orificios equidistantes. Atornillamos las cuatro semiesferas al tapón (FIGURA 161).

Desarmamos el motor eléctrico y retiramos los imanes del interior. Seguidamente se desconectan dos de los tres bobinados cortando sus salidas al colector con cuidado de no dañar las escobillas (FIGURA 162).

Una vez realizada esta operación, volvemos a montar el motor en su carcasa cuidando que las escobillas queden bien alojadas en contacto con las delgas. Como procesador que se obtienen del giro del rotor utilizaremos el velocímetro de bicicleta al que le retiramos el sensor cortando los cables y uniéndolos a los contactos del motor modificado (FIGURA 163).

Para fijar el eje del motor al rotor utilizaremos un pequeño disco de plástico perforado en el centro por el que introducimos el eje del motor fijándolo al interior del rotor con pegamento de contacto. Finalmente fijamos el motor al interior del tubo y el velocímetro lo ajustamos al exterior con una banda elástica de sujeción (FIGURA 163).



FIGURA 163

Para calibrar el anemómetro, hay que introducir en el velocímetro un valor de perímetro adecuado, para ello tendremos que leer las instrucciones del velocímetro.

Para elegir el valor idóneo, podemos compararlo con el de otro anemómetro ya calibrado en un día ventoso, o bien en un día sin brisas sacando el anemómetro por la ventanilla de un coche.

Ajustaremos el perímetro en el velocímetro hasta que el valor indicado en el anemómetro coincida con la lectura del velocímetro del coche (FIGURA 164).

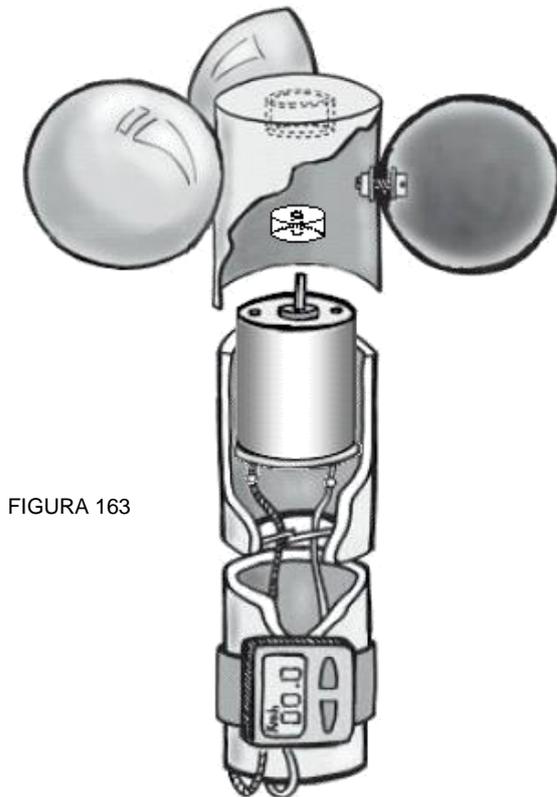


FIGURA 163

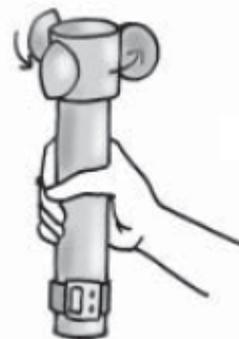


FIGURA 164

**Accesorios electrónicos para modelos de cohete.**

Algunos modelos pueden incorporar en su interior una serie de aparatos electrónicos que sirven, por ejemplo, para recoger información sobre la altitud alcanzada

por un cohete, para grabar imágenes de vídeo, obtener imágenes fotográficas panorámicas o para realizar la eyección del Sistema de recuperación de forma electrónica.

Estos aparatos electrónicos pueden comprarse en tiendas especializadas de modelismo, o bien a través de Internet. Algunos modelistas con conocimientos más avanzados en electrónica construyen sus propios sistemas comprando los componentes electrónicos necesarios que luego montan en circuitos integrados hechos por ellos mismos.

**El altímetro electrónico.**

Consiste en un circuito integrado de componentes electrónicos que recoge los datos de la altitud que consigue un cohete durante todas las fases del vuelo. Estos datos quedan almacenados en una memoria que posteriormente puede descargarse en un soporte informático y de esta forma poder obtener una gráfica de la altitud alcanzada.

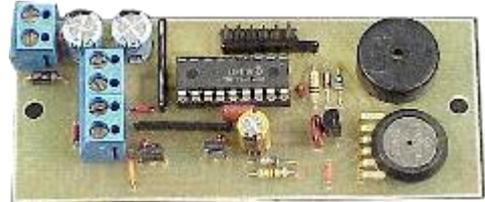


FIGURA 165



FIGURA 166: Otro tipo de altímetro montado en su soporte.

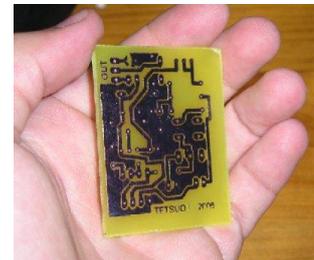
**El dispositivo electrónico de eyección.**

El dispositivo electrónico de eyección consiste en un circuito de componentes electrónicos que permite programar el momento de eyección del Sistema de recuperación del cohete mediante la ignición de una carga supletoria.

Este componente sirve para asegurar la eyección del Sistema de recuperación y también puede servir para realizar la eyección de un Sistema de recuperación secundario o de reserva.



FIGURA 167



**La vídeo cámara.**

La instalación de un vídeo cámara inalámbrica en un modelo de cohete permite grabar imágenes de vídeo en directo. La señal de vídeo se transmite desde el cohete hasta un receptor situado en tierra, que conectado a un grabador VCR permite grabar el vuelo del modelo, desde que despegue hasta que se recupera.

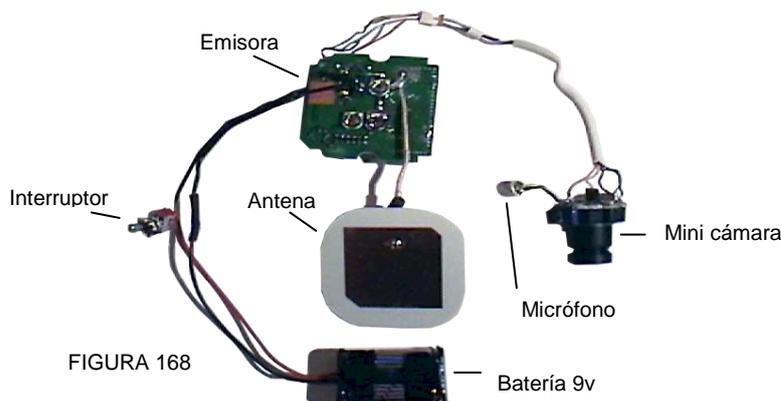


FIGURA 168

Esta vídeo cámara de reducidas dimensiones, es una X-10 XCAM que se puede adquirir en tiendas especializadas del espionaje o a través de Internet. También puede encontrarse en algunas tiendas de aeromodelismo a un precio bastante asequible.

El kit completo viene con la mini cámara color de 800x600 líneas de vídeo TV, un emisor de 300 metros de alcance, un micrófono incorporado, una antena, un porta baterías para la vídeo cámara y un receptor para conectar Audio y Vídeo a un grabador VCR en tierra.

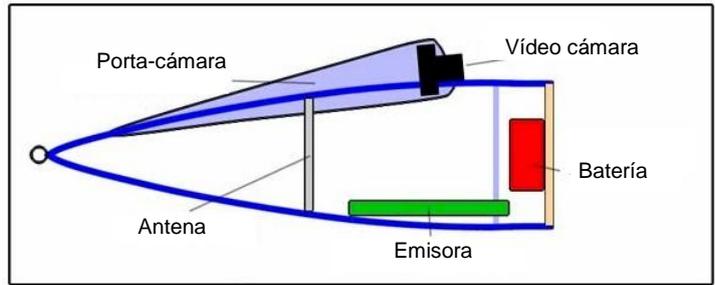
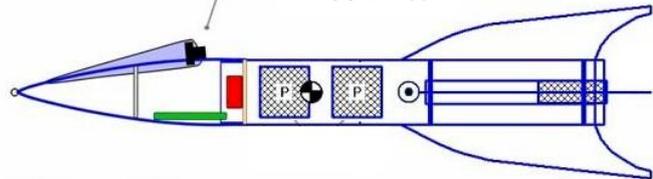


FIGURA 169



La vídeo cámara viene montada en su carcasa original lista para instalar, pero para poder montarla en un cohete hay que retirar esta carcasa y separar sus componentes. Una vez realizada esta operación, el montaje de la cámara en el modelo se puede hacer de varias formas, una de ellas la puede ver en la FIGURA 169. Todo dependerá del ingenio del modelista.



FIGURA 170

Otras cámaras de vídeo bastante más ligeras que la anterior, y de muy reducidas dimensiones, son la FlyCamOne v1 (FIGURA 170) de 24 gramos y la FlyCamOne v2 (FIGURA 171) con un peso de 37 gramos, graban vídeo en color y con sonido, en formato AVI sobre una memoria flash con una calidad semejante a la de una webcam. La primera viene con un adaptador con espejo inclinado 45°, mientras que la segunda puede girar su objetivo 180°. Poseen una batería de Litio de una hora de autonomía, y pueden conectarse a un PC por USB.



FIGURA 171

**El Beeper.**

El Beeper consiste en un sencillo dispositivo electrónico que sirve para localizar el modelo una vez que ha caído a tierra, lejos de la base de lanzamiento o en la noche. Posee una serie de componentes electrónicos entre los cuales se encuentra un zumbador o Beeper y un led de alta luminosidad.

FIGURA 172



**NOTAS FINALES**

**Algunas recomendaciones.**

Sea precavido y responsable con las normas de seguridad. Las normas están hechas por algún motivo, y no por capricho de alguien. Debe saber que normalmente si Vd. es socio de algún club deportivo de aeromodelismo, éste debe contar con un seguro de responsabilidad civil que le cubra frente a posibles daños a terceros, de lo contrario hágase con un seguro de responsabilidad civil particular.

Nunca lance cohetes en solitario, forme un equipo con varios amigos o familiares y reparta las tareas y responsabilidades. Los preparativos y el lanzamiento de un cohete es casi un ritual. Sobre todo no abandone los motores gastados en el campo, pues son muy codiciados por quienes desean experimentar con ellos tratando de volver a recargarlos.

He podido comprobar, en numerosos casos, que los que se inician en este apasionante mundo del Modelismo Espacial quedan enganchados a él para siempre. También es verdad que no todos los que lo practican cumplen las normas establecidas, o actúan de forma irresponsable sin saberlo, sobre todo al querer acabar un proyecto con

prisas. Mi experiencia me ha enseñado a trabajar con calma, ya que las cosas hechas con prisas salen mal la mayoría de las veces, y terminas trabajando varias veces sobre lo mismo empleando más tiempo del necesario.

No se desespere si no le sale bien la primera vez. Tómese su tiempo para pensar bien en cada detalle, y sobre todo ármese de mucha paciencia y estudie bien los conceptos. No dude en preguntarle a un veterano que seguro estará encantado de ayudarle.

Le recomiendo que siempre recopile y documente todos los datos técnicos de los modelos que construya, así como los datos de cada vuelo que realice. Para ayudarle en esta tarea puede utilizar los formularios proporcionados en las páginas 96 y 97. Si se produce algún fallo en el modelo cuando lo lance, no se desanime, analice los fallos y aprenda de los errores cometidos para corregirlos en los próximos lanzamientos. Tenga muy presente que si no fuera por el afán de aventura y de aprender de los errores, el ser humano jamás hubiera llegado tan lejos en la exploración espacial.

Por su composición, el combustible de los motores son altamente "higroscópicos", es decir, absorben la humedad con facilidad, y con los cambios bruscos de temperatura dicho combustible tiende a agrietarse, por lo que se puede producir un "cato" a la hora de encender el motor. Así pues, conserve los motores en grupos separados de dos o tres motores, en lugar seco y a una temperatura constante y sobre todo no los exponga excesivamente al sol.

Si tiene alguna duda o sugerencia que hacerme sobre este manual o algún concepto que desee corregir o aportar, puede contactar conmigo en la dirección de Email: [jesmanrec@yahoo.es](mailto:jesmanrec@yahoo.es)

## **Bibliografía.**

- "The Dynamics & Thermodynamics of Compressible fluid flow". Vol. 1. Shapiro, A.H. Ronald, New York.
- "Cone Cylinder and Ojive Cylinder Geometric and Mass Characteristics". Mayo, E.E. Memo to Code 721.2 Files at NASA GSPC.
- "Lift and Center of Pressure of Wing-Body-Tail Combinations at Subsonics, and Supersonics Speeds". Pitts, W. C. NASA TR-1307, G. P. O., Washington D.C.
- "Unsteady Supersonic Flow". Sec. 12.4 , Milles, J. W. A. R. D. C. Baltimore.
- "Aerobee 350 Wind Tunnel Test Analysis". McNerney, J. C. Space General Corporation. El Monte, California.
- "Fluyd-Dynamic Drag". Hoerner, Dr. S. F. Mdland Park. New Jersey.
- "The Physics and Mathematics of the Bottle Rocket". Sam Chan. Fountain Valley High School, CA.
- "The theoretical prediction of the Center of Pressure" James S. Barrowman & Judit A. Barrowman. Research and development project at NARAM-8.
- Techical Information Report (TIR)-Nº 30. "Stability of a Model Rocket in Flight". Jim Barrowman. Centuri Engineering Company- Box 1988 – Phoenix Arizona 85001.
- "Extending The Barrowman Method For Large Angles Of Attack". Edward V.LaBudde 1999. Westlake Village, CA 91362.

**Enlaces de interés.**

<http://www.tripoli-spain.org/>

Sitio dedicado principalmente a la actividad del Modelismo Espacial en España.

<http://www.nar.org/>

Sitio oficial de la National Association of Rocketry en EE.UU.

<http://www.rfae.es/>

Sitio oficial de la Real Federación Aeronáutica Española.

<http://www.fai.org/>

Sitio oficial de la Federation Aéronautique Internationale, en ella encontrará el Código Deportivo de la FAI y normativa para Competiciones Internacionales y Copas Mundiales.

<http://www.hobbymodel.es/>

Tienda dedicada al aeromodelismo y al Modelismo Espacial con sucursal en España.

<http://www.sierrafoxbobbies.com/es/>

Tienda dedicada al Modelismo Espacial ubicada en Italia.

<http://www.thrustcurve.org/>

Página dedicada a los motores con una gran Base de Datos disponible, especificaciones, curvas de potencia, descarga de datos WRASP en formatos .eng para RockSim, etc.

<http://www.apogeerockets.com/education/index.asp>

Página oficial de Apogee Components, en donde se puede descargar la última versión "trial" del simulador RockSim y aprender muchas cosas más.

<http://www.leem.es/>

Página oficial de la asociación "Laboratorio para Experimentación en Espacio y Microgravedad".

<http://openrocket.sourceforge.net/download.html>

Página de descarga gratuita del nuevo y completísimo simulador OpenRocket.

**ANEXO I****TABLAS, GRÁFICOS Y FORMULARIOS.**

<u>Pág.</u>	
85	Tabla trigonométrica.
86	Tabla de motores.
88	Gráfica – Fuerza Normal en el Soporte Cónico delantero.
89	Gráfica – Fuerza Normal en el Soporte Cónico trasero.
90	Gráfica – Centro de Presiones en el Soporte Cónico delantero y trasero.
91	Gráfica – Fuerza Normal sobre una aleta.
92	Gráfica – Factor de interferencia sobre las aletas en presencia del cuerpo.
93	Gráfica – Centro de Presiones en las aletas.
94	Plantilla para alinear las aletas en el cuerpo.
95	Formulario – Informe de Vuelo.
96	Formulario – Ficha técnica del Modelo.
97	Tabla Dimensiones de un paracaídas.
98	Patrón de recorte para un segmento de un paracaídas semi-elipsoidal.
99	Plantilla para el Goniómetro casero.

**TABLA TRIGONOMÉTRICA**

°	Seno	Tan.	°	Seno	Tan.	°	Seno	Tan.			
0	...	0.000	0.000								
1	...	0.017	0.018	31	...	0.515	0.601	61	...	0.875	1.804
2	...	0.035	0.035	32	...	0.530	0.625	62	...	0.883	1.881
3	...	0.052	0.052	33	...	0.545	0.649	63	...	0.891	1.963
4	...	0.070	0.070	34	...	0.559	0.675	64	...	0.899	2.050
5	...	0.087	0.088	35	...	0.574	0.700	65	...	0.906	2.145
6	...	0.105	0.105	36	...	0.588	0.727	66	...	0.914	2.246
7	...	0.122	0.123	37	...	0.602	0.754	67	...	0.921	2.356
8	...	0.139	0.141	38	...	0.616	0.781	68	...	0.927	2.475
9	...	0.156	0.158	39	...	0.629	0.810	69	...	0.934	2.605
10	...	0.174	0.176	40	...	0.643	0.839	70	...	0.940	2.747
11	...	0.191	0.194	41	...	0.656	0.869	71	...	0.946	2.904
12	...	0.208	0.213	42	...	0.669	0.900	72	...	0.951	3.078
13	...	0.225	0.231	43	...	0.682	0.933	73	...	0.956	3.271
14	...	0.242	0.249	44	...	0.695	0.966	74	...	0.961	3.487
15	...	0.259	0.268	45	...	0.707	1.000	75	...	0.966	3.732
16	...	0.276	0.287	46	...	0.719	1.036	76	...	0.970	4.011
17	...	0.292	0.306	47	...	0.731	1.072	77	...	0.974	4.331
18	...	0.309	0.325	48	...	0.743	1.111	78	...	0.978	4.705
19	...	0.326	0.344	49	...	0.755	1.150	79	...	0.982	5.145
20	...	0.342	0.364	50	...	0.766	1.192	80	...	0.985	5.671
21	...	0.358	0.384	51	...	0.777	1.235	81	...	0.988	6.314
22	...	0.375	0.404	52	...	0.788	1.280	82	...	0.990	7.115
23	...	0.391	0.425	53	...	0.799	1.327	83	...	0.993	8.144
24	...	0.407	0.445	54	...	0.809	1.376	84	...	0.995	9.514
25	...	0.423	0.466	55	...	0.819	1.428	85	...	0.996	11.43
26	...	0.438	0.488	56	...	0.829	1.483	86	...	0.998	14.30
27	...	0.454	0.510	57	...	0.839	1.540	87	...	0.999	19.08
28	...	0.470	0.532	58	...	0.848	1.600	88	...	0.999	28.64
29	...	0.485	0.554	59	...	0.857	1.664	89	...	1.000	57.29
30	...	0.500	0.577	60	...	0.866	1.732	90	...	1.000	∞

**TABLA DE MOTORES**



Motores Composite de un solo uso.

Tipo	Tiempo de quemado (s)	Impulso total (Ns)	Longitud (mm)	Dia. (mm)	Peso máximo cohete (g)	Empuje máximo (N)	Peso total (g)	Peso propelente (g)
D10-3	1.9	20	70	18	450	17.7	25.8	9.8
D10-5	1.9	20	70	18	300	17.7	25.8	9.8
D10-7	1.9	20	70	18	300	17.7	25.8	9.8
ÊE6-P	7.2	40	77	24	175	15.4	41	22
E6-4	7.2	40	77	24	175	15.4	41	22
E6-6	7.2	40	77	24	150	15.4	41	22
E6-8	7.2	40	77	24	150	15.4	41	22
F10-4	7.8	80	85.7	29	238	20.0	71	40.7
F10-6	7.8	80	85.7	29	205	20.0	71	40.7
F10-8	7.8	80	85.7	29	170	20.0	71	40.7



Motores pólvora de un solo uso.

Tipo	Tiempo de quemado (s)	Impulso total (Ns)	Longitud (mm)	Dia. (mm)	Peso máximo cohete (g)	Empuje máximo (N)	Peso total (g)	Peso propelente (g)
A6-4	0.41	2.5	70	18	74	11.82	15.3	3.5
B6-4	0.75	5.0	70	18	113	14.38	17.8	6.5
B6-2	0.75	5.0	70	18	113	14.38	17.8	6.5
C6-0	1.71	10.0	70	18	113	10.79	22.9	12.5
C6-3	1.71	10.0	70	18	113	10.79	22.9	12.5
C6-5	1.71	10.0	70	18	113	10.79	22.9	12.5
C6-7	1.86	10.0	70	18	70.8	14.09	24.2	10.8



Motores pólvora de un solo uso.

Tipo	Tiempo de quemado (s)	Impulso total (Ns)	Longitud (mm)	Dia. (mm)	Peso máximo cohete (g)	Empuje máximo (N)	Peso total (g)	Peso propelente (g)
1/2A3-2T	0.36	1.09	45	13	56.6	7.62	6.4	2.0
A3-4T	1.01	2.22	45	13	56.6	5.83	8.5	3.3
A10-3T	0.85	2.00	45	13	141.5	12.64	8.5	3.8



Motores póvora de un solo uso.

Tipo	Tiempo de quemado (s)	Impulso total (Ns)	Longitud (mm)	Dia. (mm)	Peso máximo cohete (g)	Empuje máximo (N)	Peso total (g)	Peso propelente (g)
C11-3	0.81	8.8	70	24	170	21.73	34.5	12.0
D12-0	1.65	16.8	70	24	396.2	29.73	39.2	21.1
D12-3	1.65	16.8	70	24	396.2	29.73	41.4	21.1
D12-5	1.65	16.8	70	24	283.0	29.73	45.2	21.1
D12-7	1.65	16.8	70	24	226.4	29.73	44.9	21.1



Motores recargables Composite.

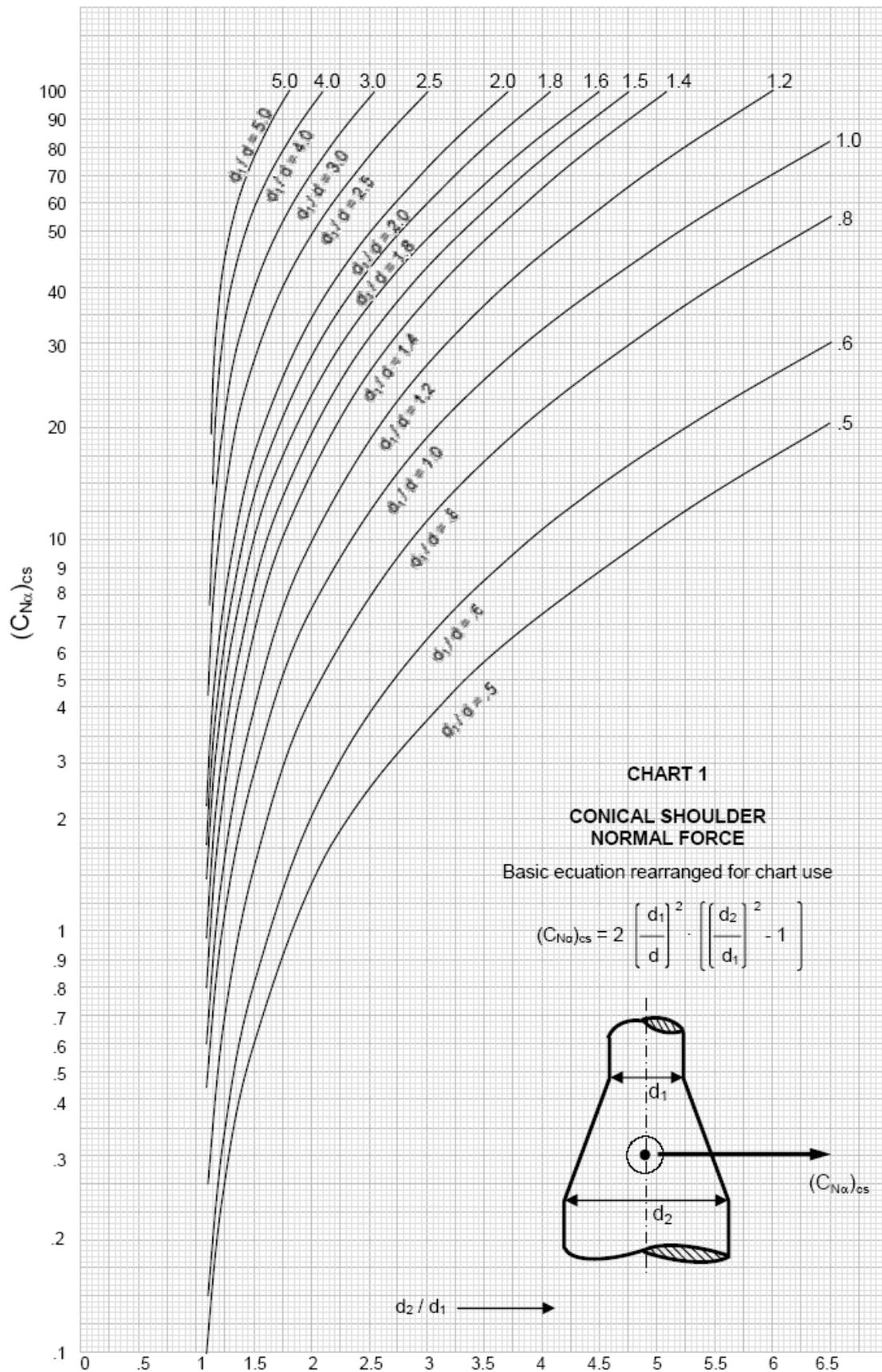
Tipo	Tiempo de quemado (s)	Impulso total (Ns)	Longitud (mm)	Dia. (mm)	Peso máximo cohete (g)	Empuje máximo (N)	Peso total (g)	Peso propelente (g)
E11-3J	2.83	32.74	70	24	?	28.8	62.4	25
E18-4W	2.20	39.78	70	24	454	31.0	57.0	20.7
E18-7W	2.20	39.78	70	24	269	31.0	57	20.7
E28-4T	1.22	39.69	70	24	454	50.5	54.5	18.4
E28-7T	1.22	39.69	70	24	301	50.5	54.5	18.4
F12-5J	2.93	43.19	70	24	305	23.5	66.7	30.0
F24-4W	2.13	47.30	70	24	454	40.9	62.5	19.0
F24-7W	2.13	47.30	70	24	269	40.9	62.5	19.0
F39-6T	1.33	49.65	70	24	397	59.6	60.0	22.7
F39-9T	1.33	49.65	70	24	255	59.6	60.0	22.7
F37W-M	1.60	50.67	99	29	347	46.47	109.3	28.2
F62T-M	1.0	54	99	29	475	59.5	109	28.0
G54W-M	1.51	81.05	125	29	642	81.64	136.2	46.0
G104T-M	1.0	85.0	125	29	871	118	135	46.0
G79W-M	1.42	108.5	149	29	800	100.7	154	61.0
G77R-M	1.25	105	149	29	730	100.0	155	58.0



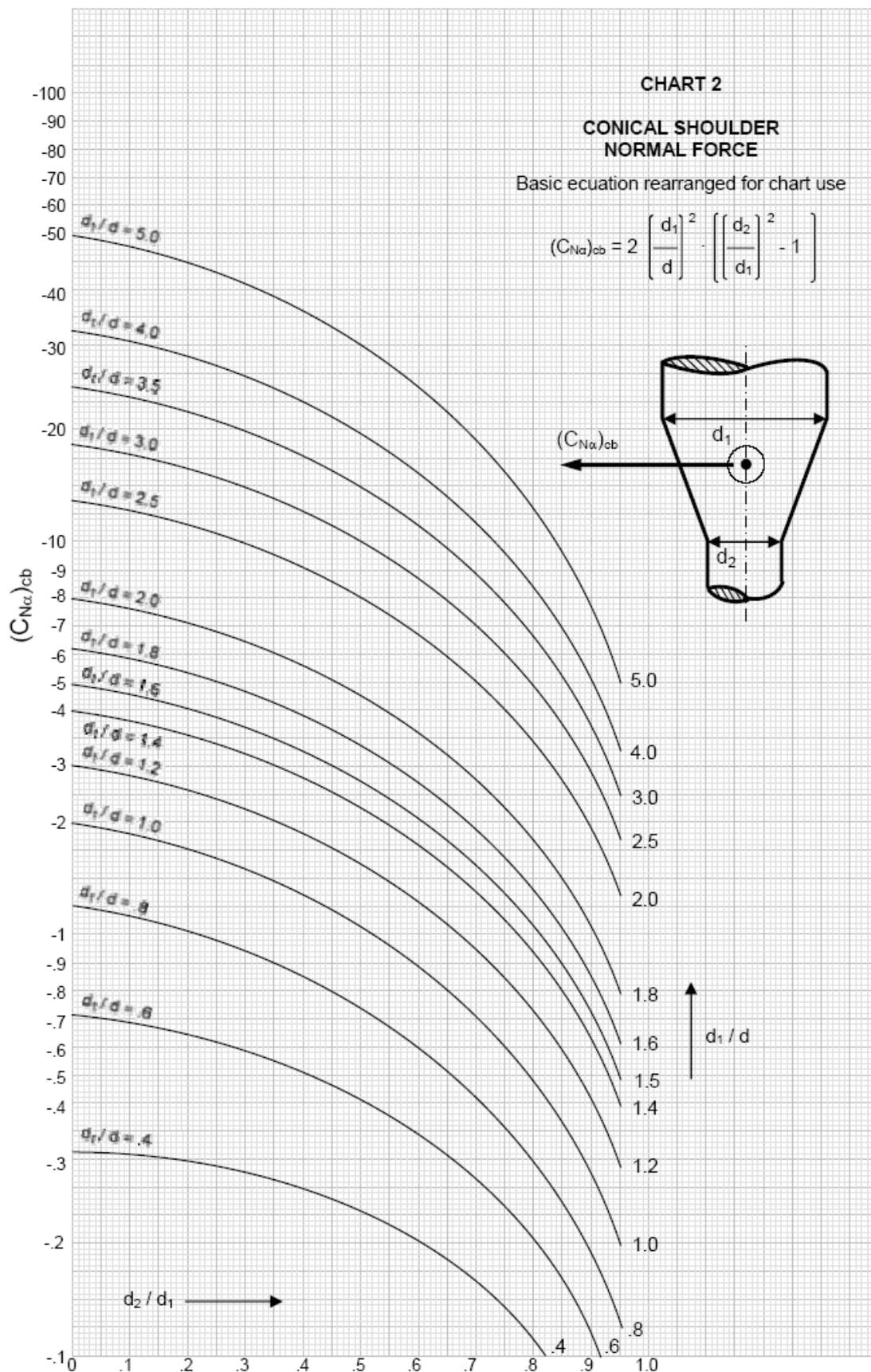
Motores Composite de un solo uso.

Tipo	Tiempo de quemado (s)	Impulso total (Ns)	Longitud (mm)	Dia. (mm)	Peso máximo cohete (g)	Empuje máximo (N)	Peso total (g)	Peso propelente (g)
E15-4W	2.64	40.0	70	24	454	28.8	50.2	20.1
E15-7W	2.64	40.0	70	24	269	28.8	50.0	20.1
E30-4T	1.22	39.5	70	24	454	48.3	43.4	19.3
E30-7T	1.22	39.5	70	24	301	48.3	43.2	19.3
F20-4W	2.8	60.45	83	29	620	40.9	80	30.0
F20-7W	2.8	60.45	83	29	454	40.9	80	30.0
F42-4T	1.3	55.0	83	29	620	62.3	77	27.0
F42-8T	1.3	55.0	83	29	454	62.3	77	27.0

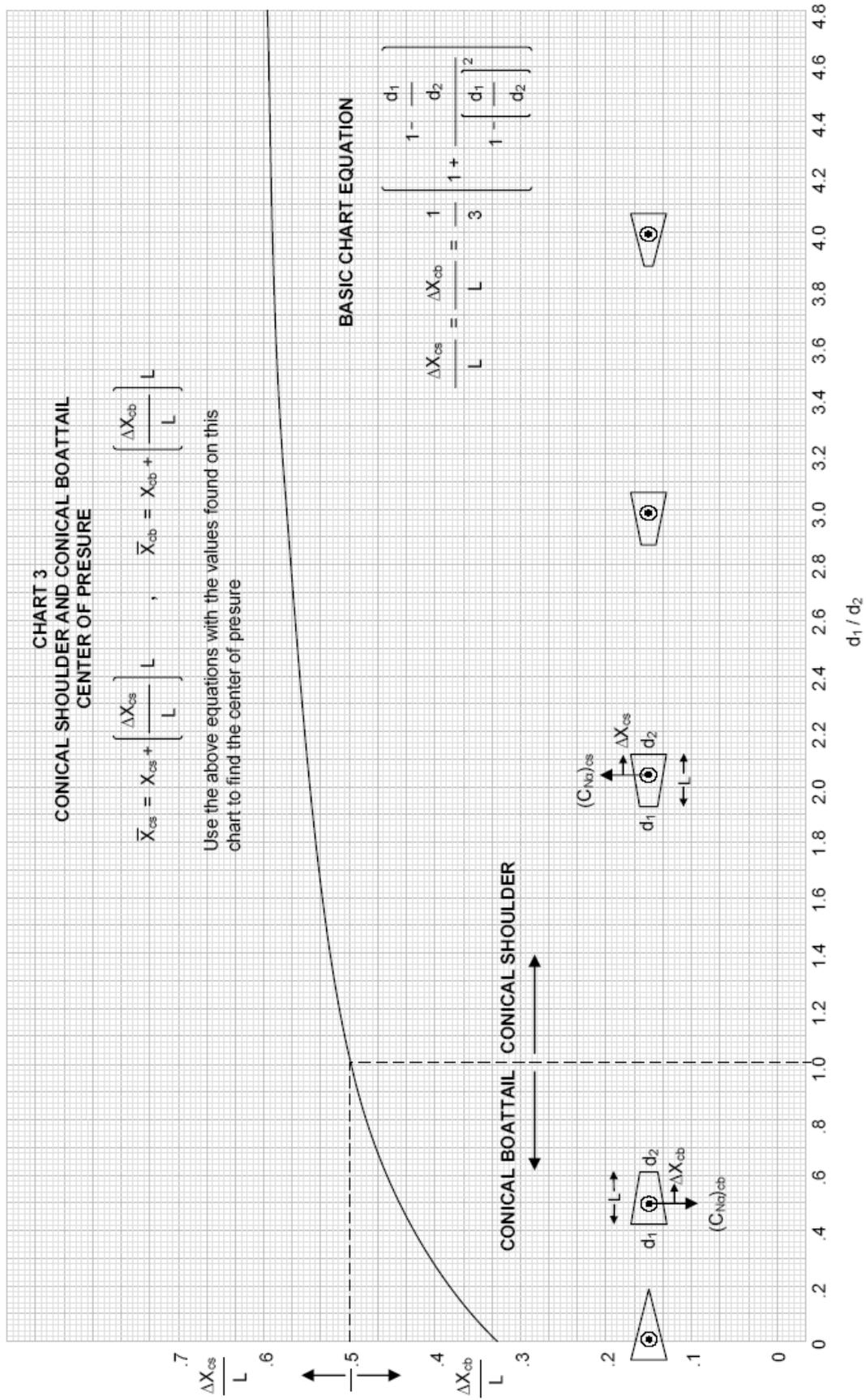
**FUERZA NORMAL EN EL SOPORTE CÓNICO DELANTERO**



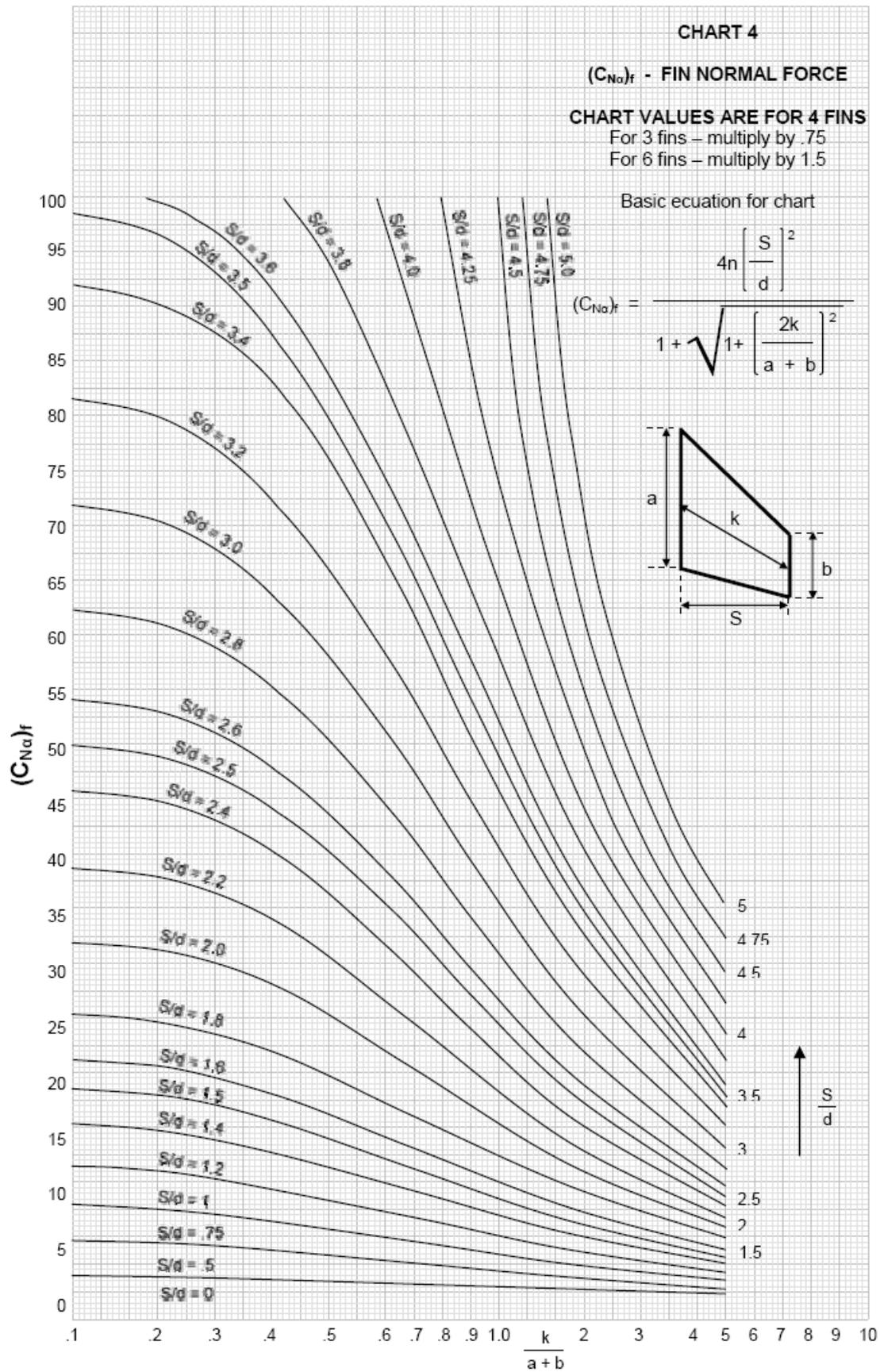
FUERZA NORMAL EN EL SOPORTE CÓNICO TRASERO



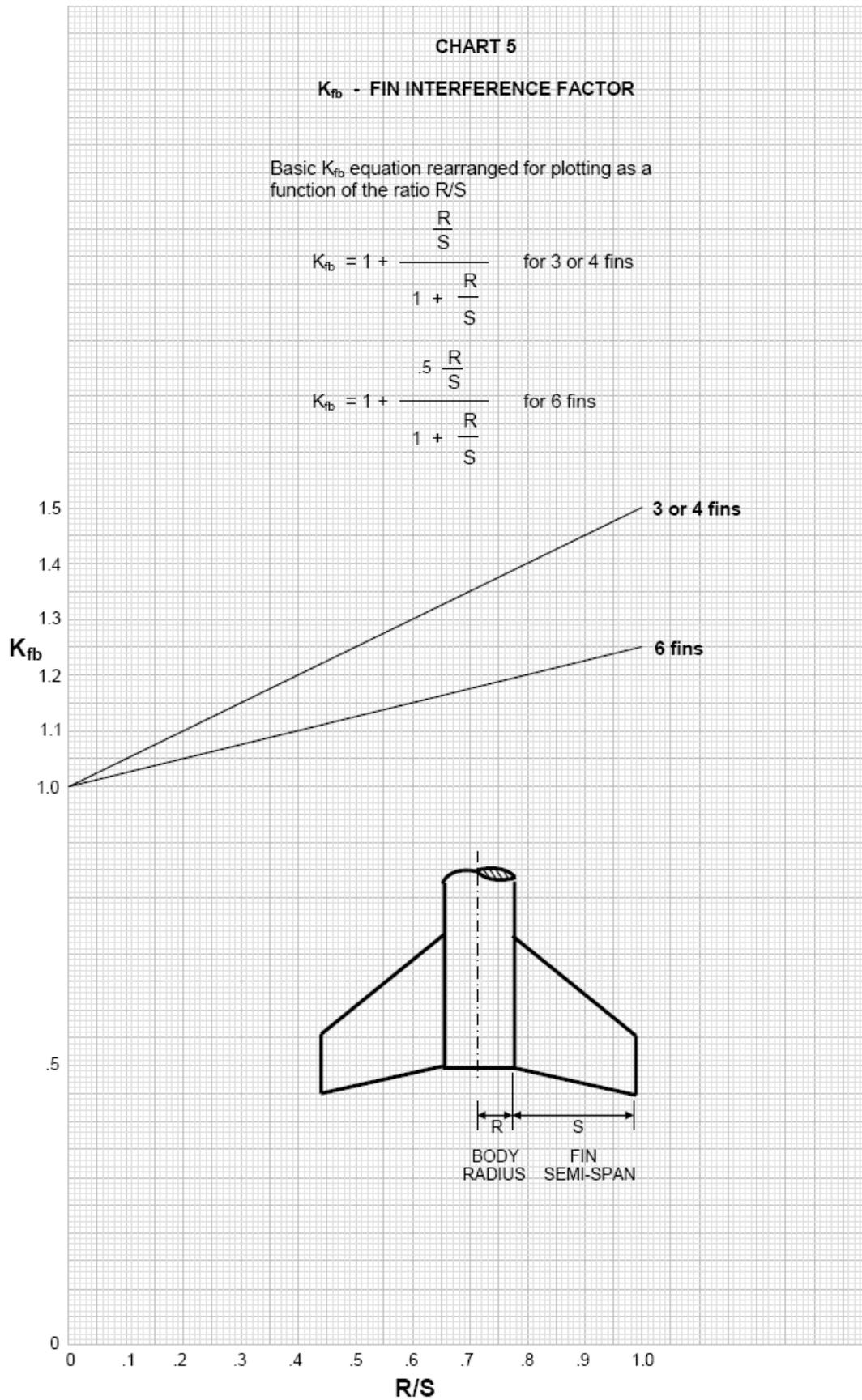
**CENTRO DE PRESIONES EN EL SOPORTE CÓNICO DELANTERO Y TRASERO**



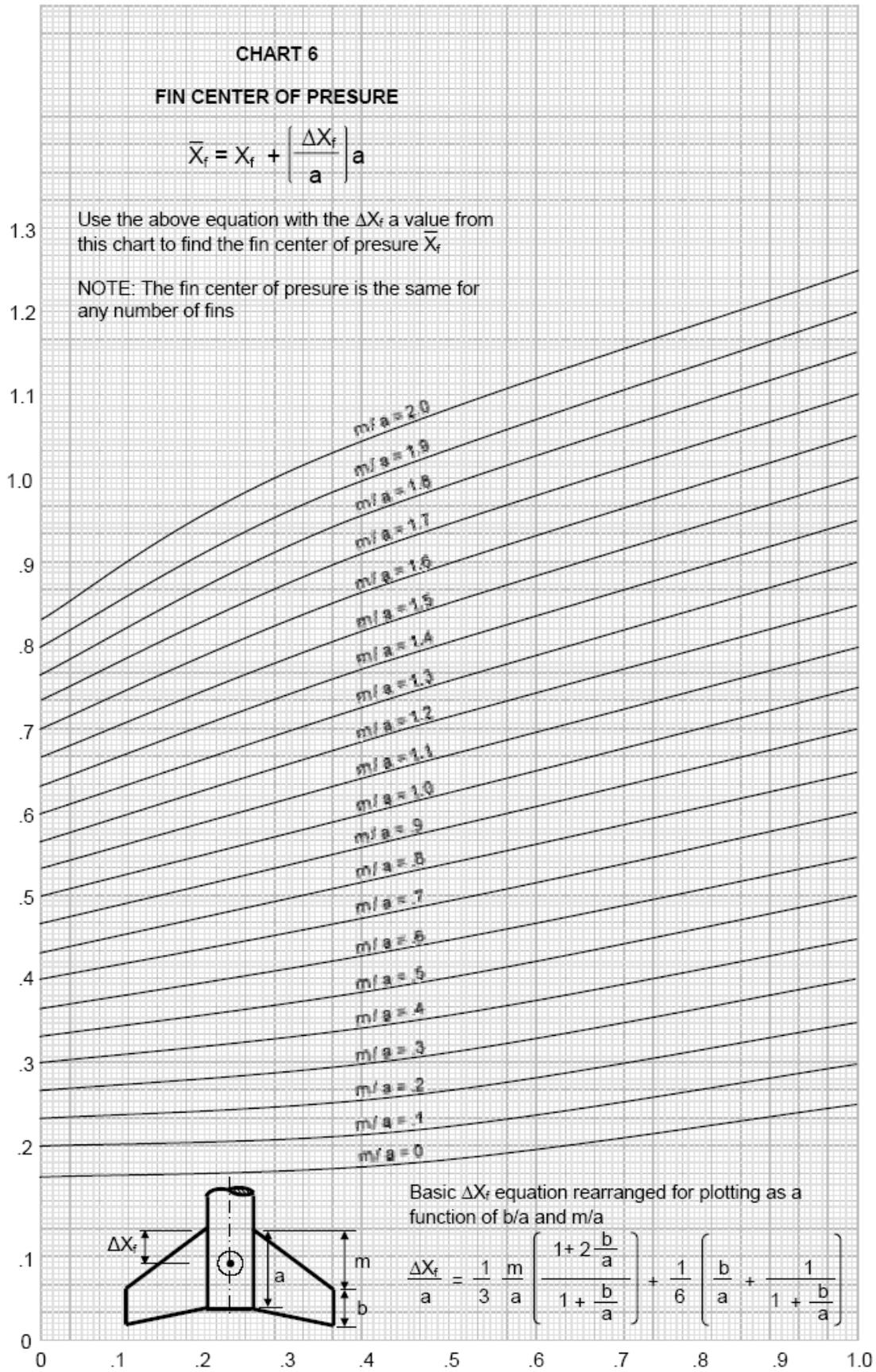
FUERZA NORMAL SOBRE UNA ALETA



**FACTOR DE INTERFERENCIA DE LAS ALETAS EN PRESENCIA DEL CUERPO**

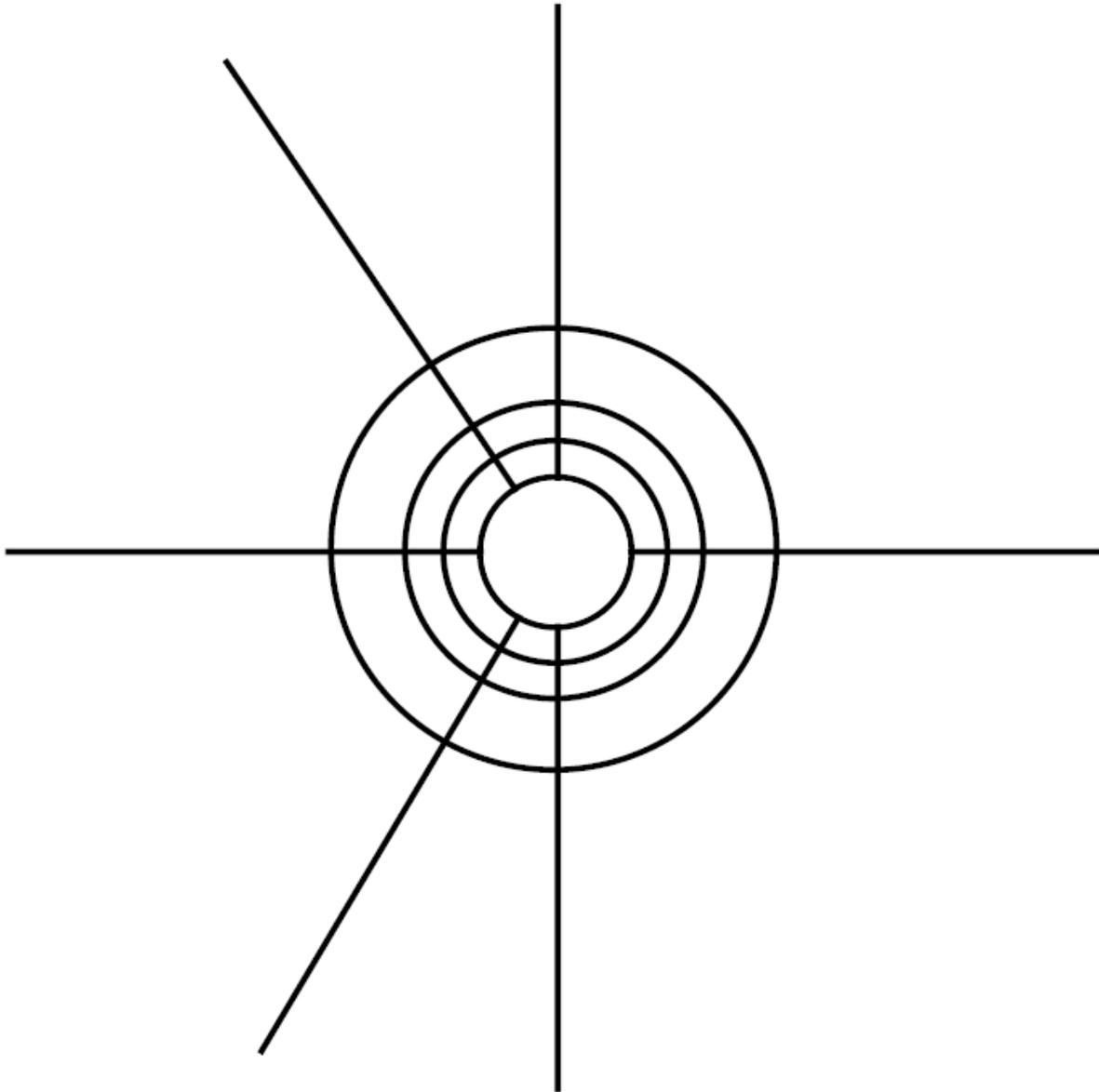


CENTRO DE PRESIONES EN LAS ALETAS



**PLANTILLA PARA ALINEAR LAS ALETAS EN EL CUERPO**

Sitúe el modelo de pié sobre la plantilla y marque alrededor del cuerpo la ubicación de las aletas antes de pegarlas al cuerpo.



**FORMULARIO INFORME DE VUELO**

<b>INFORME DE VUELO</b>			
Nombre de la Misión:		Fecha y Hora:	
Lugar de lanzamiento:			
<b>DATOS DEL MODELO</b>			
Nombre del Modelo:			
Nombre del Constructor:			
Tipo de Modelo:			
Peso total del modelo (gr):			
	Etapa 1ª	Etapa 2ª	Etapa 3ª
Nº x Motores (Código y retardo):			
<b>DATOS METEORÓLOGICOS</b>			
Temperatura ambiental (°C):		Velocidad del viento (m/s):	
Dirección del viento:		Aspecto del cielo:	
Presión atmosférica:		Humedad relativa del aire:	
<b>DATOS DE VUELO</b>			
	Valor estimado (*)	Valor real	
Altitud total alcanzada (mts):			
Duración Etapa 1ª (seg):			
Duración Etapa 2ª (seg):			
Duración Etapa 3ª (seg):			
Apertura de los paracaídas (seg):			
Duración del descenso (seg):			
Tiempo total de vuelo (seg):			
Recuperación (mts):			
<b>DATOS OBTENIDOS PARA EL CÁLCULO DE LA ALTITUD ALCANZADA</b>			
	Estación A	Estación B	Estación C
Grados de elevación:			
Grados de acimut:			
Distancia de la Línea base (mts):			
<b>INCIDENCIAS DE LA MISIÓN Y CUENTA REGRESIVA</b>			
Anulación (Fecha y hora)	Reanudación (Fecha y hora)	Motivo de la anulación.	
Observaciones:			

(\*) Indicar el valor obtenido en las simulaciones realizadas con los programas de simulación.

**FORMULARIO FICHA TÉCNICA DEL MODELO**

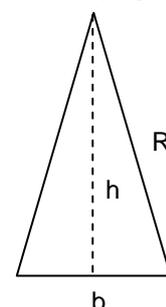
<b>FICHA TÉCNICA DEL MODELO</b>								
Nombre del Modelo:					(dibujo o imagen del Modelo)			
Tipo de Modelo:								
Fecha de construcción:								
Nº máximo de vuelos recomendado:								
Nº total de vuelos realizados:								
Longitud total del Modelo (mm):								
Peso neto del modelo (gr):								
Nº total de etapas:								
Tipo Sistema de Recuperación:								
Tipo de plataforma a utilizar (guía o rampa):								
Longitud de guía o rampa recomendada (mm):								
Estado actual del Modelo:								
<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS COMPONENTES</b>								
	Forma	Material	Longitud (mm)	Diámetros a, b (mm)		Peso (gr)		
El cono:								
El cuerpo A:								
El cuerpo B:								
El cuerpo C:								
Transición A:								
Transición B:								
Transición C:								
Sec. Carga útil:								
Paracaídas A:								
Paracaídas B:								
Paracaídas C:								
	Unidades.	Material	<b>a</b> (mm)	<b>b</b> (mm)	<b>m</b> (mm)	<b>k</b> (mm)	<b>s</b> (mm)	Peso (gr)
Aletas A:								
Aletas B:								
Aletas C:								
<b>MOTORES RECOMENDADOS</b>								
	Unidades.	Marca / Modelo	Código y Retardo		Tipo de encendido	Peso total inicial (gr)		
Etapa 1ª (A):								
Etapa 2ª (B):								
Etapa 3ª (C):								
Sistema contra-incendios recomendado:								
Peso total recomendado (gr):								
<b>DATOS DE ESTABILIDAD</b>								
Tipo de prueba realizada	CP (mm)		CG (mm)		Margen (mm)		Margen $\theta$	
Viento lateral máx. tolerable (m/s):			Resultado de la prueba:					
<b>DATOS DEL CONSTRUCTOR</b>								
Nombre y Apellidos:					Firma:			
Certificación:								
Tlf. de contacto:								

**DIMENSIONES DE UN PARACAÍDAS**

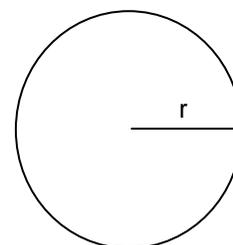
Para una velocidad de descenso segura del modelo de 3 m/s.

v = 3 m/s	Dimensiones de los paracaídas (centímetros)								
	Semi-hemisférico Plano								Superficie total (m <sup>2</sup> )
	Poligonales								
	Hexagonal (6 lados)			Octogonal (8 lados)			Cruz	Circular	
R	h	b	R	h	b	p	r		
100	30	26	30	29	26	24	28	27	0,24
120	33	29	33	32	29	27	31	30	0,28
140	36	31	36	34	31	29	33	32	0,33
160	38	33	38	37	33	31	36	35	0,38
180	41	35	41	39	35	33	38	37	0,43
200	43	37	43	41	37	35	40	39	0,47
220	45	39	45	43	39	36	42	41	0,52
240	47	41	47	45	41	38	44	43	0,57
260	49	42	49	47	42	39	45	44	0,62
280	51	44	51	48	44	41	47	46	0,66
300	52	45	52	50	45	42	49	48	0,71
320	54	47	54	52	47	44	50	49	0,76
340	56	48	56	53	48	45	52	51	0,81
360	57	50	57	55	50	46	53	52	0,85
380	59	51	59	56	51	48	55	54	0,90
400	60	52	60	58	52	49	56	55	0,95
420	62	54	62	59	54	50	58	56	1,00
440	63	55	63	61	55	51	59	58	1,04
460	65	56	65	62	56	52	60	59	1,09
480	66	57	66	63	57	54	62	60	1,14
500	68	58	68	65	59	55	63	61	1,19
520	69	60	69	66	60	56	64	63	1,23
540	70	61	70	67	61	57	65	64	1,28
560	71	62	71	69	62	58	67	65	1,33
580	73	63	73	70	63	59	68	66	1,37
600	74	64	74	71	64	60	69	67	1,42
620	75	65	75	72	65	61	70	68	1,47
640	76	66	76	73	66	62	71	69	1,52
660	78	67	78	74	67	63	72	71	1,56
680	79	68	79	75	68	64	73	72	1,61
700	80	69	80	77	69	65	74	73	1,66
720	81	70	81	78	70	66	75	74	1,71
740	82	71	82	79	71	67	76	75	1,75
760	83	72	83	80	72	67	77	76	1,80
780	84	73	84	81	73	68	78	77	1,85
800	85	74	85	82	74	69	79	78	1,90
820	86	75	86	83	75	70	80	79	1,94
840	88	76	88	84	76	71	81	80	1,99
860	89	77	89	85	77	72	82	81	2,04
880	90	78	90	86	78	73	83	81	2,09
900	91	78	91	87	79	73	84	82	2,13
920	92	79	92	88	80	74	85	83	2,18
940	93	80	93	89	80	75	86	84	2,23
960	94	81	94	90	81	76	87	85	2,28
980	95	82	95	91	82	77	88	86	2,32
1000	96	83	96	92	83	77	89	87	2,37

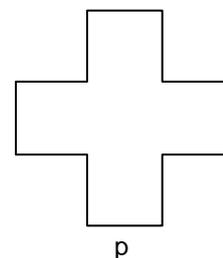
Triángulo elemental en los paracaídas poligonales



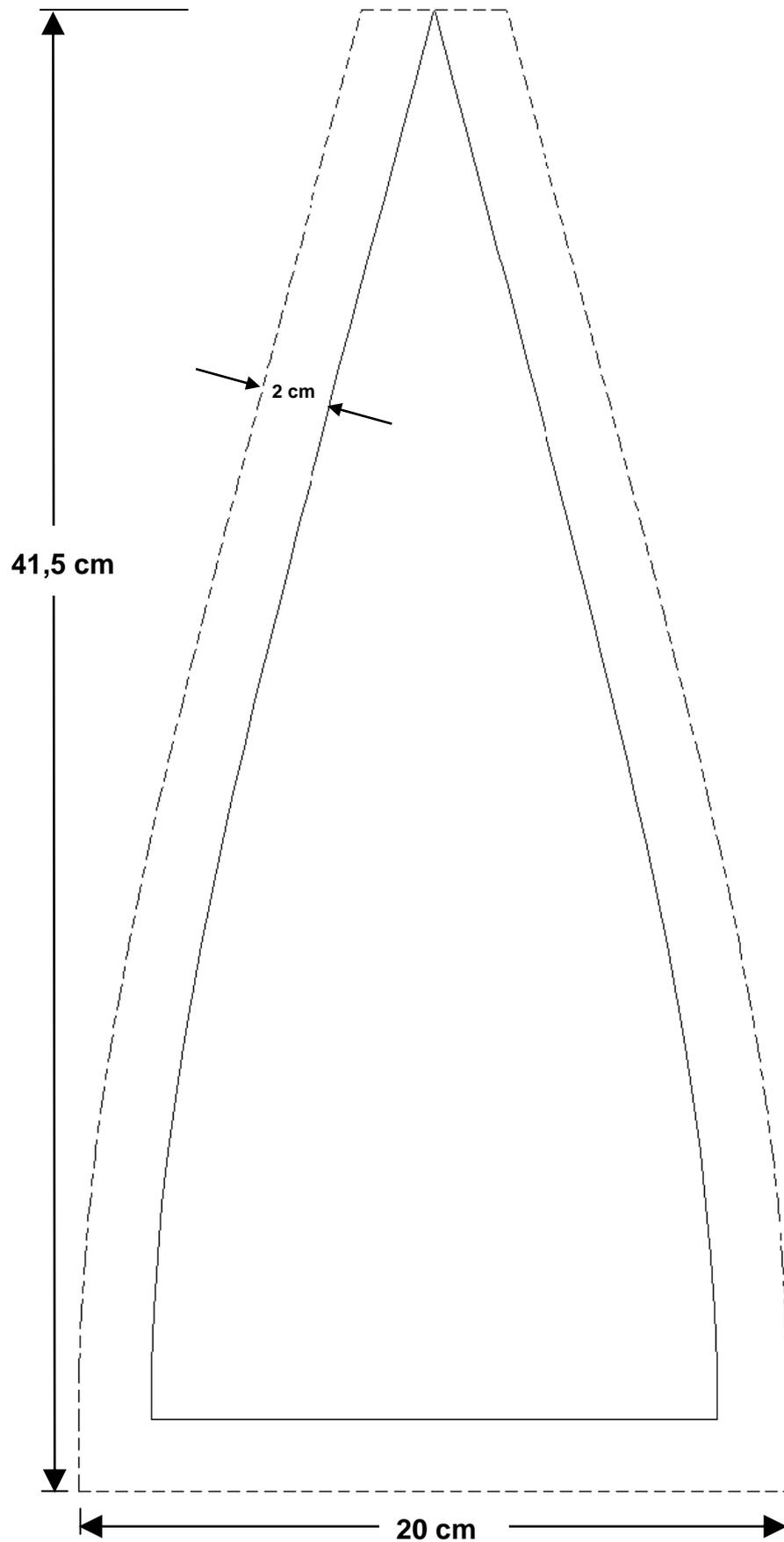
Paracaídas circular



Paracaídas en cruz

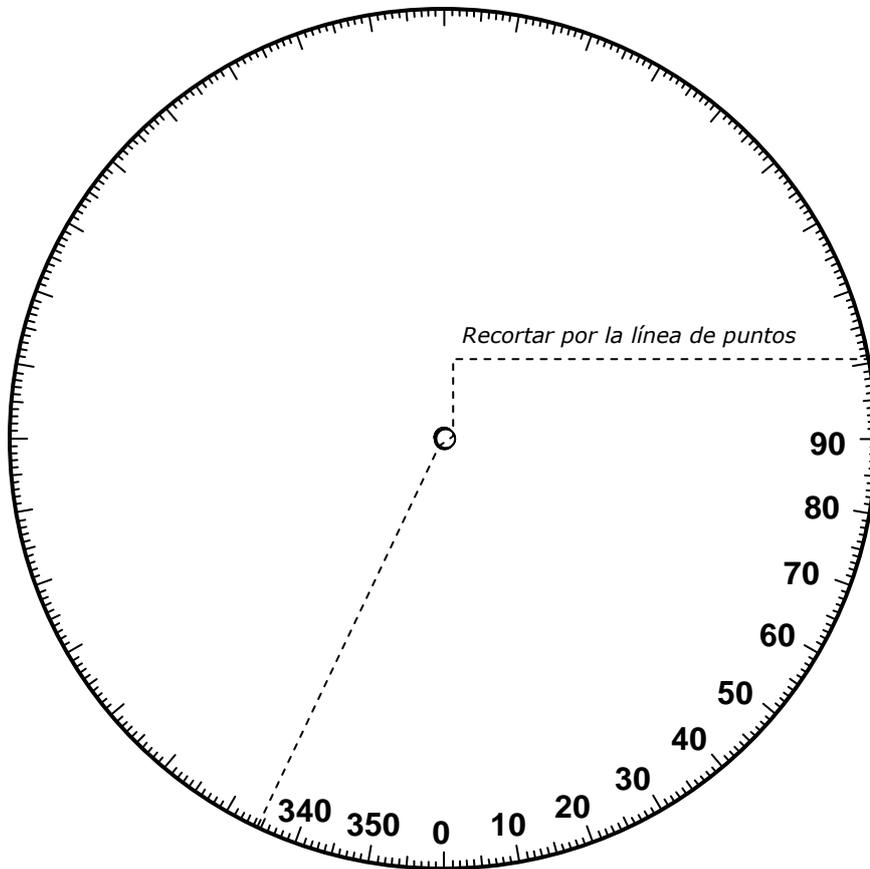


**PATRÓN DE RECORTE PARA UN SEGMENTO DE PARACAÍDAS SEMI-ELIPSOIDAL**



**PLANTILLA PARA LA ETIQUETA DEL GONIÓMETRO CASERO**

Imprima esta etiqueta por impresora y péguela sobre un CD-ROM que no le sirva. Luego recorte el disco con una segueta por la línea punteada. Finalmente pegue el trozo recortado sobre la estructura del Goniómetro.



**ANEXO II**

**PLANOS DE MODELOS PARA CONSTRUIR.**

<u>Pág.</u>	
102	Cohete JAYHAWK.
103	Cohete NIKE AJAX.
104	Cohete NIKE X.
105	Cohete Phoenix.
106	Cohete SENTINEL.
107	Cohete Stiletto.
108	Giroc3p3tero Giroc.

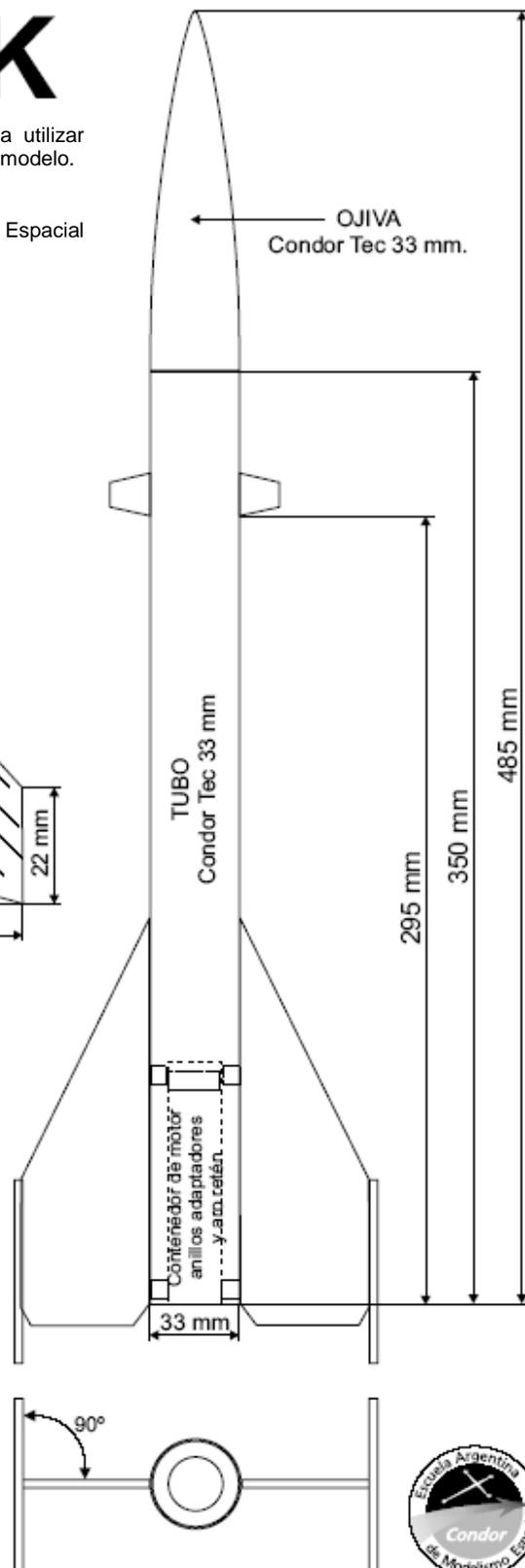
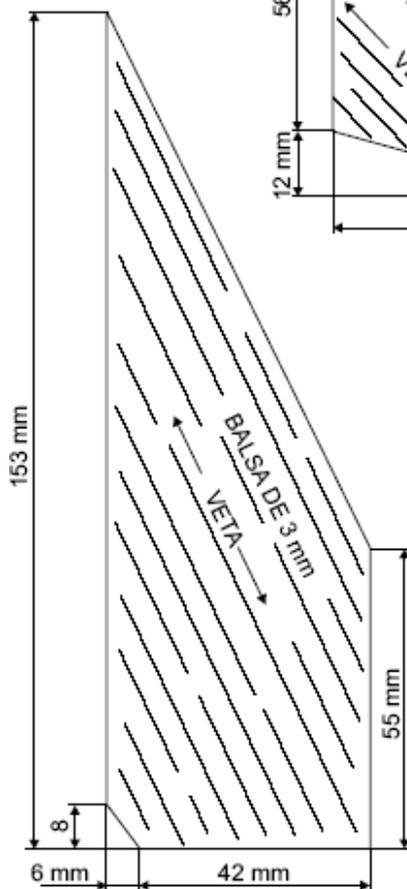
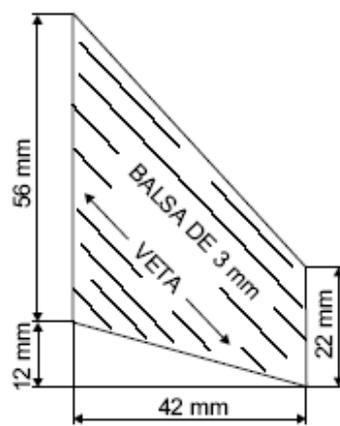
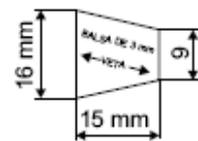
*POR CORTESÍA DE*



# JAYHAWK

Misil Americano JAYHAWK a escala. Se recomienda utilizar madera de balsa para la construcción de las partes del modelo. Motores recomendados: Tipo C.

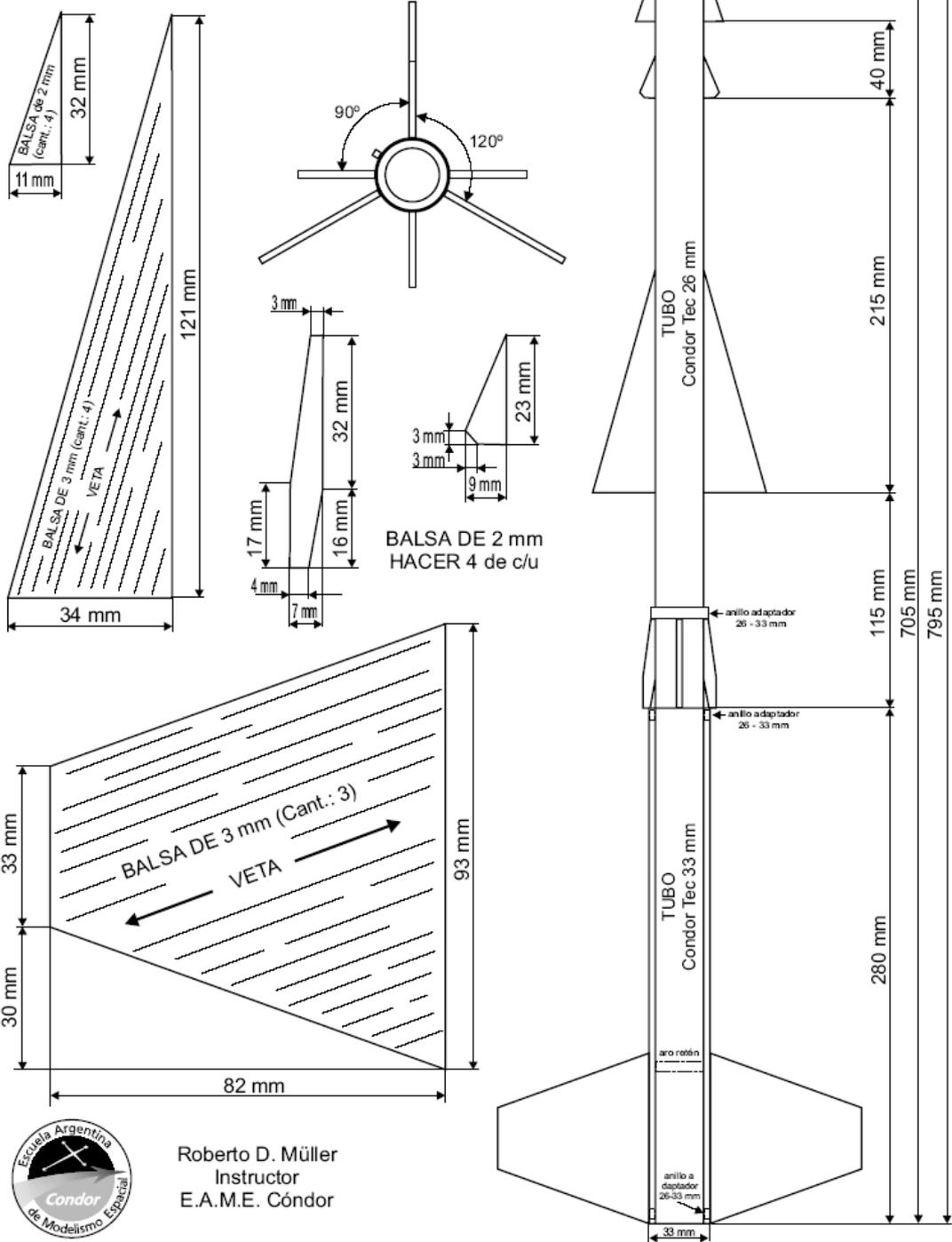
Plano original de la Escuela Argentina de Modelismo Espacial "Condor".



# NIKE AJAX

Misil Americano NIKE AJAX a escala. Se recomienda utilizar madera de balsa para la construcción de las partes del modelo. Motores recomendados: Tipo D.

Plano original de la Escuela Argentina de Modelismo Espacial "Condor".

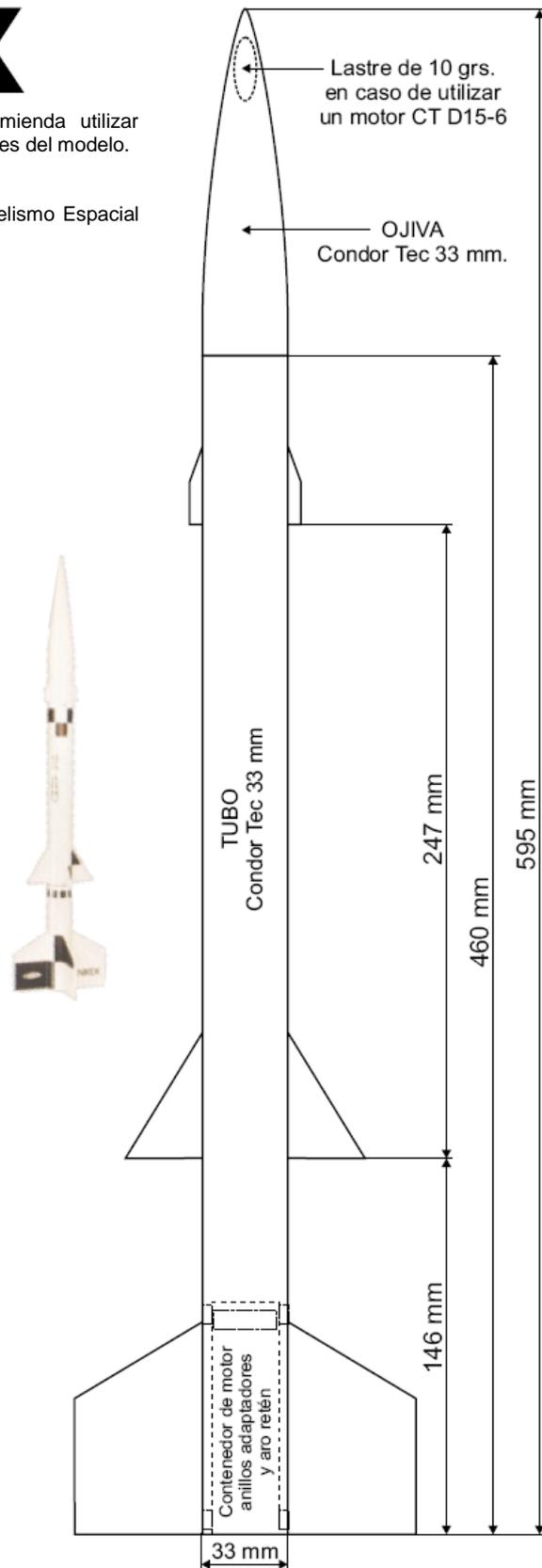
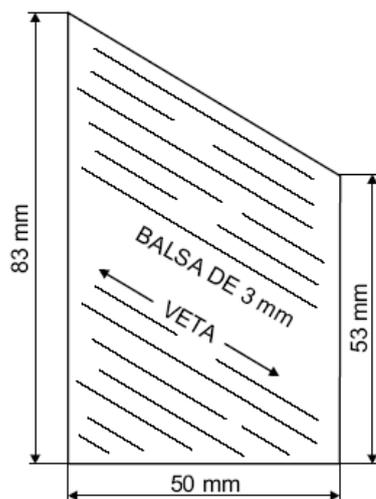
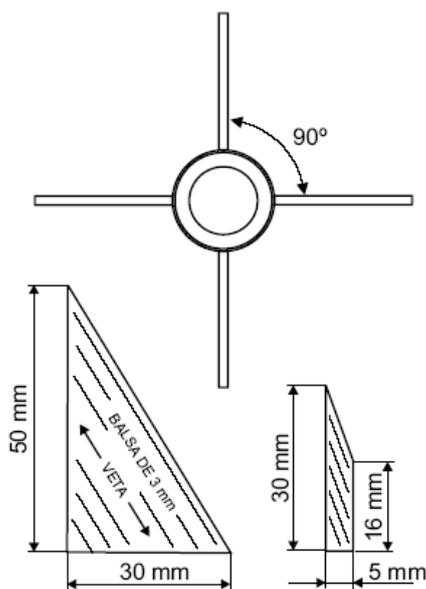


Roberto D. Müller  
Instructor  
E.A.M.E. Córdor

# NIKE X

Misil Americano NIKE X a escala. Se recomienda utilizar madera de balsa para la construcción de las partes del modelo. Motores recomendados: Tipo C y D.

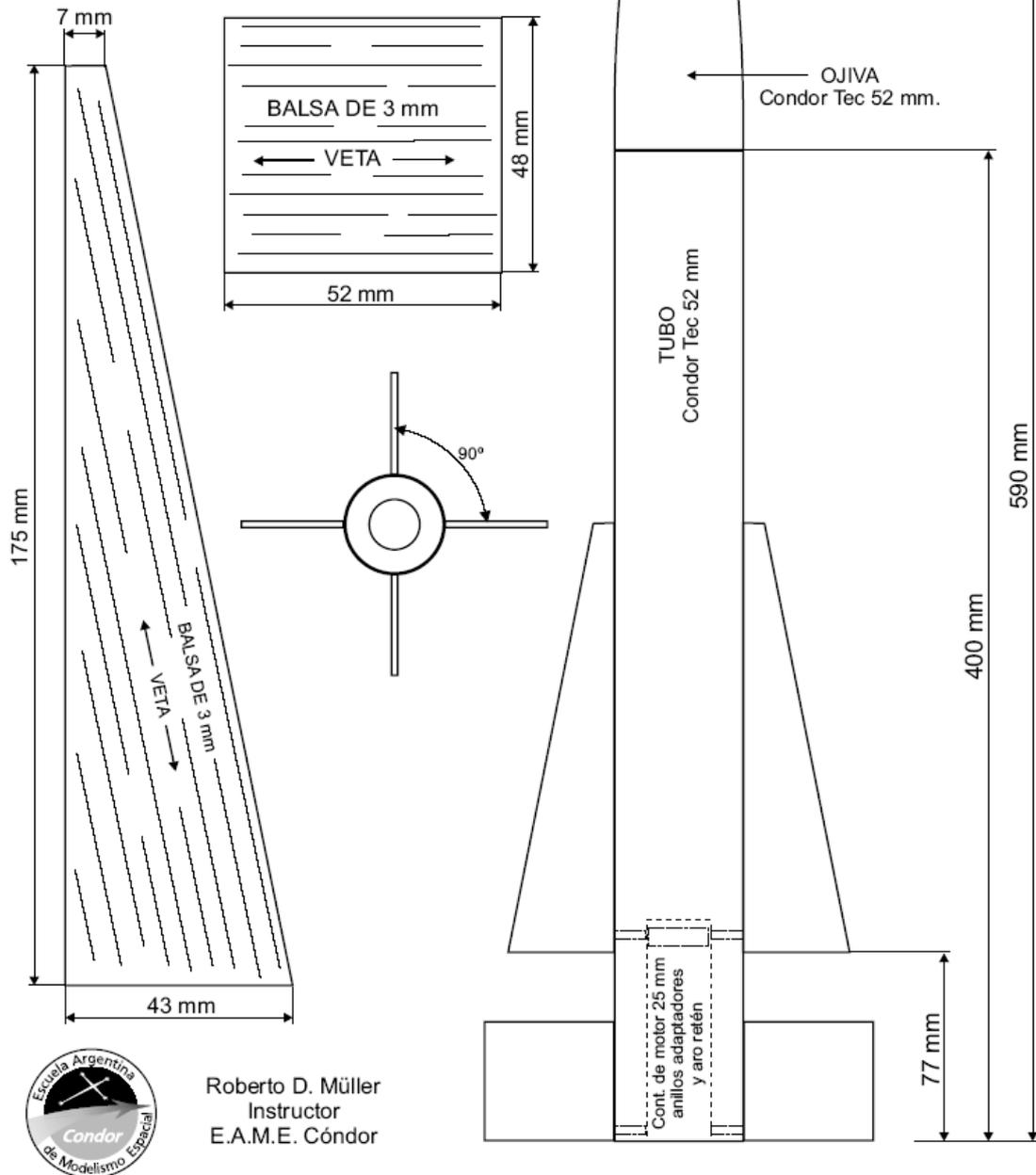
Plano original de la Escuela Argentina de Modelismo Espacial "Condor".



# Phoenix

Misil Americano PHOENIX a escala. Se recomienda utilizar madera de balsa para la construcción de las partes del modelo. Motores recomendados: Tipo D.

Plano original de la Escuela Argentina de Modelismo Espacial "Condor".

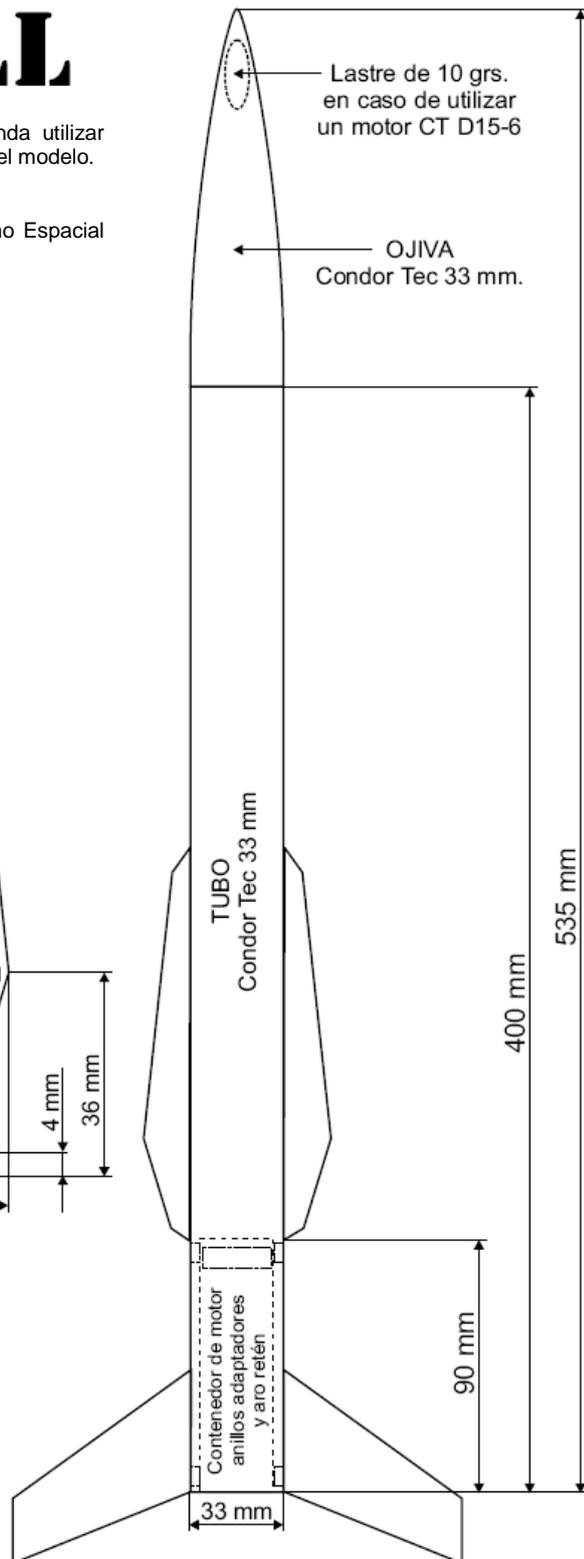
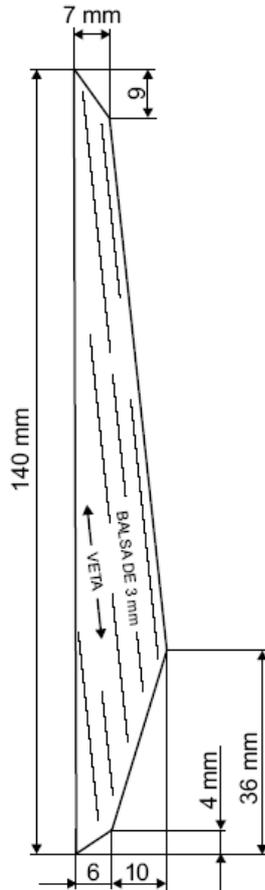
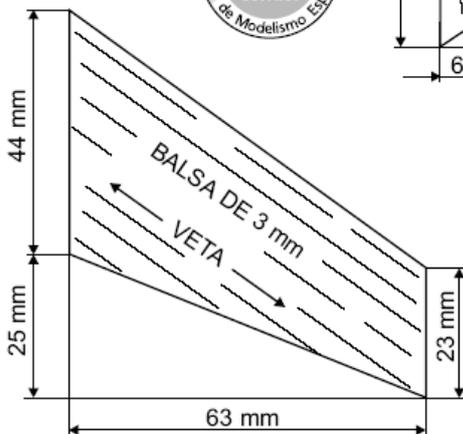
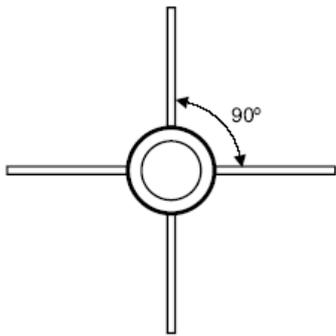


Roberto D. Müller  
Instructor  
E.A.M.E. Córdor

# SENTINELL

Misil Americano SENTINEL a escala. Se recomienda utilizar madera de balsa para la construcción de las partes del modelo. Motores recomendados: Tipo C y D.

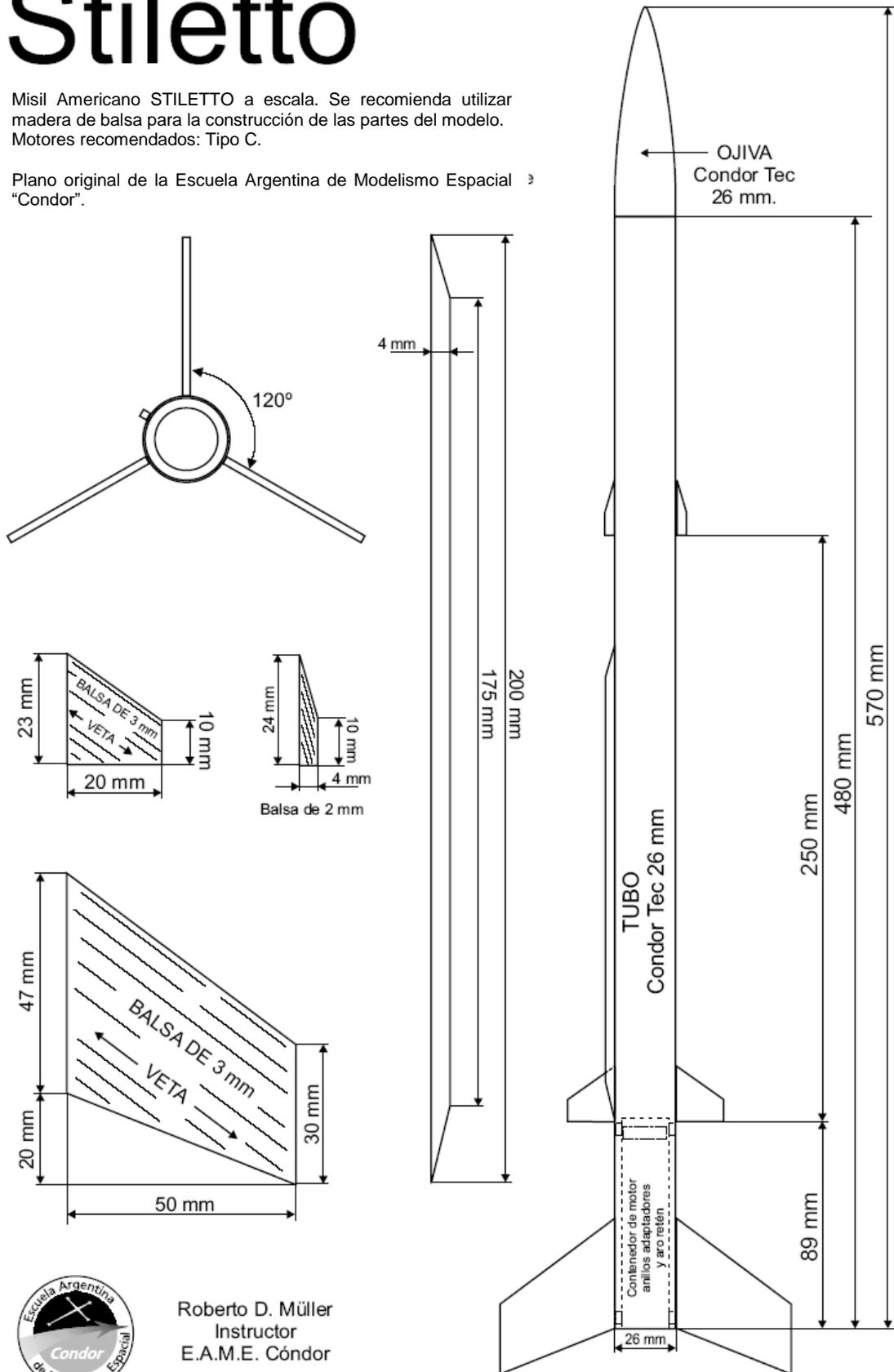
Plano original de la Escuela Argentina de Modelismo Espacial "Condor".



# Stiletto

Misil Americano STILETTO a escala. Se recomienda utilizar madera de balsa para la construcción de las partes del modelo. Motores recomendados: Tipo C.

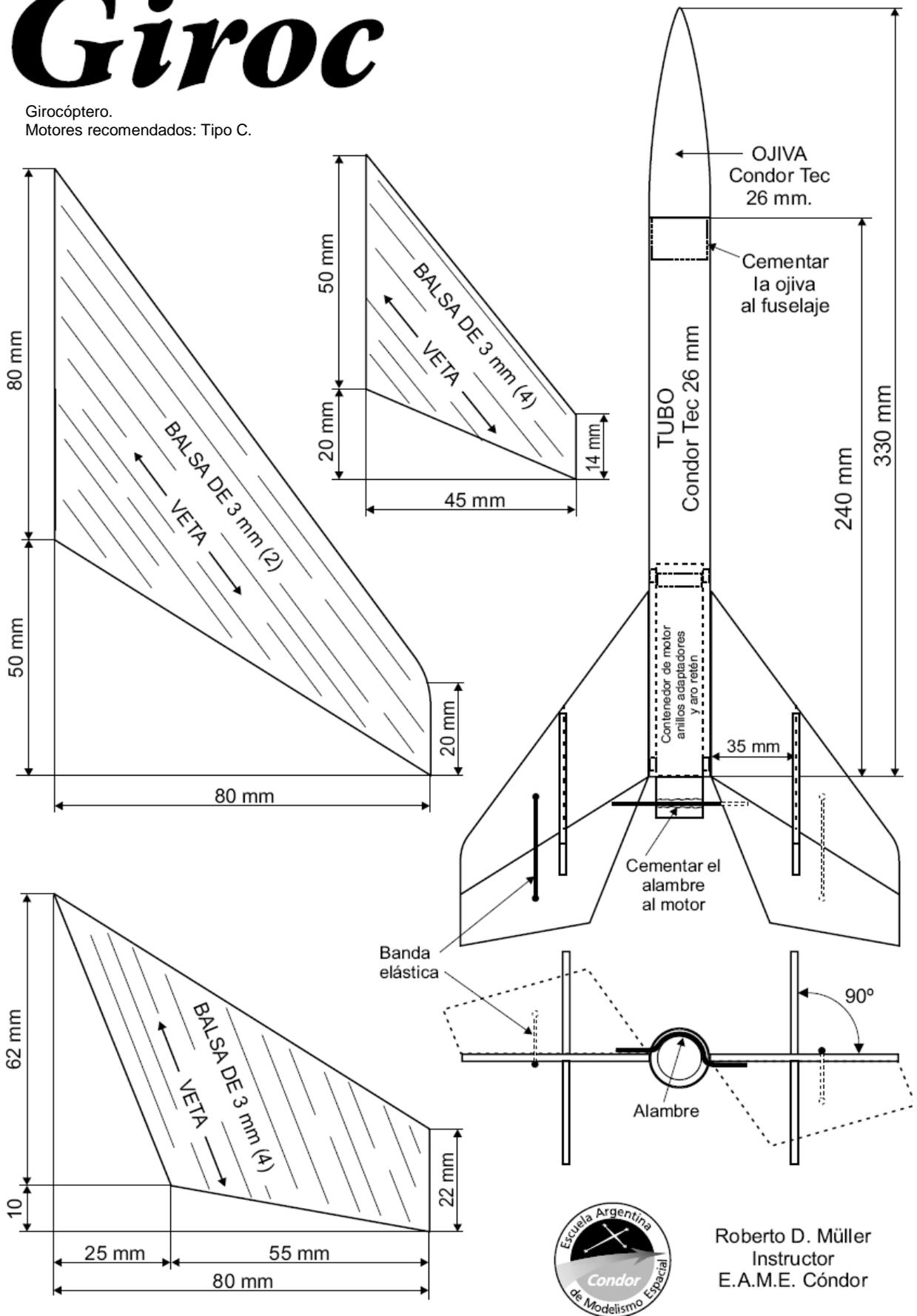
Plano original de la Escuela Argentina de Modelismo Espacial "Condor".



Roberto D. Müller  
Instructor  
E.A.M.E. Cónдор

# Giroc

Giroc6ptero.  
Motores recomendados: Tipo C.



Roberto D. M6ller  
Instructor  
E.A.M.E. C6ndor

## ANEXO III

### NORMATIVAS Y REGLAMENTOS OFICIALES.

Pág.

110	Código NAR de seguridad del modelista espacial.
111	Reglamento NAR para cohetes de alta potencia (HPR).
113	Normativa FAI, Sección 4b sobre concursos internacionales.
123	Proyecto del Real Decreto sobre Reglamento y Régimen de utilización.



## NATIONAL ASSOCIATION OF ROCKETRY

### Código de Seguridad del modelista espacial.

- 1. Materiales de construcción.** Utilizaré únicamente materiales ligeros y no metálicos para construir todas las partes de mi modelo de cohete como son el cono, el cuerpo y las aletas.
- 2. Motores.** Utilizaré únicamente motores comerciales que estén certificados para modelos de cohete. y no los modificaré o los utilizaré para otros propósitos, excepto para los que recomienda el fabricante.
- 3. Sistema de ignición.** Lanzaré mis cohetes mediante un sistema eléctrico seguro, y utilizaré para ello ignitores eléctricos. Mi Sistema de ignición dispondrá de una llave de seguridad conectada en serie con el interruptor de disparo. El interruptor de disparo deberá regresar a la posición de "desconectado" en cuanto quede liberado.
- 4. Fallos en la ignición.** Si mi cohete no despegue cuando presione el interruptor de disparo, retiraré la llave de seguridad, o desconectaré la batería del Sistema de ignición, y esperaré al menos 60 segundos tras el último intento de disparo antes de permitir que alguien se acerque al cohete.
- 5. Seguridad en el lanzamiento.** Realizaré una cuenta regresiva y me aseguraré de que los presentes presten su atención y de que se encuentren fuera del perímetro de seguridad antes de efectuar el lanzamiento. El perímetro de seguridad se establecerá a una distancia mínima de 5 metros desde la plataforma de lanzamiento cuando se lancen cohetes con motores del tipo D o de menor potencia, y de 10 metros cuando se lancen cohetes de mayor potencia. Si no tuviera la certeza de que el modelo es estable y seguro para ser lanzado, realizaré las pruebas que sean necesarias para confirmar su estabilidad antes del lanzamiento.
- 6. Lanzadores.** Lanzaré mis cohetes desde una rampa, una torre o una guía de lanzamiento cuya inclinación sea inferior a 30° respecto a la vertical para asegurarme de que el cohete vuele en una dirección recta, lo más cercana a la vertical que sea posible, y utilizaré un deflector en la base de la plataforma para evitar el contacto directo de la llama de combustión con el suelo y prevenir así posibles incendios. Para prevenir posibles daños a los ojos, colocaré los lanzadores de forma que el extremo de la guía o de la rampa estén por encima del nivel de los ojos o en su defecto, taparé y señalaré dicho extremo con una cinta o cubierta llamativa mientras no se esté realizando un lanzamiento.
- 7. Tamaño del cohete.** Los modelos de cohete de categoría inferior a los HPR no pesarán más de 1500 gramos en el despegue y sus motores no tendrán en suma más de 125 gramos de combustible o 320 Ns de impulso total. Si mi cohete pesa más de 453 gramos o utilizo motores que en suma tengan más de 113 gramos de combustible, velaré por el estricto cumplimiento de las normativas establecidas por la Federación Nacional de Aeronáutica antes de realizar el lanzamiento.
- 8. Seguridad en el vuelo.** No lanzaré mi cohete dirigido hacia objetivos aéreos o terrestres, hacia el interior de las nubes, o cerca de aeronaves, parapentes o aerostáticos, y no colocaré explosivos o materiales inflamables en la sección de carga útil de mi cohete.
- 9. Lugar del lanzamiento.** Lanzaré mis cohetes en exteriores, en áreas despejadas de obstáculos. Estas áreas serán tan grandes como se indica en la tabla sobre las dimensiones del lugar de lanzamiento, y en condiciones meteorológicas propicias, con vientos inferiores a 32 km/h. Me aseguraré de que el lugar de lanzamiento esté despejado de materiales inflamables como hierba seca, grasas, y derivados del petróleo.
- 10. Sistema de recuperación.** Utilizaré un sistema de recuperación en forma de serpentín, paracaídas, girocóptero o planeador para que el cohete regrese a tierra de forma segura y sin sufrir daños, y así pueda volar de nuevo. Asimismo utilizaré un algodón ignífugo como medio de protección del Sistema de recuperación en el interior de mi cohete.

**11. Seguridad en la recuperación.** No intentaré recuperar un modelo de cohete que haya quedado enganchado en líneas aéreas de alta tensión, árboles altos o sitios peligrosos.

<b>DIMENSIONES DEL LUGAR DE LANZAMIENTO</b>		
<b>Impulso Total utilizado (N-seg)</b>	<b>Tipo de motor equivalente</b>	<b>Dimensiones mínimas del sitio (mts.)</b>
0.00-1.25	1/4A, 1/2A	15
1.26-2.50	A	30
2.51-5.00	B	60
5.01-10.00	C	120
10.01-20.00	D	150
20.01-40.00	E	300
40.01-80.00	F	300
80.01-160.00	G	300
160.01-320.00	2 Gs	450

Revisión de Febrero de 2001



## Reglamento para cohetes de alta potencia (HPR).

*Actualizado en Marzo de 2006.*

- 1. Certificación.** Únicamente lanzaré cohetes de alta potencia (HPR) y tendré en mi posesión motores para HPR cuando vaya a realizar la prueba necesaria para obtener mi certificación de nivel, o estar ya en posesión de la misma.
- 2. Materiales.** Mis HPR estarán contruidos con materiales ligeros, como papel, madera, goma y plástico, y con las mínima cantidad de metales que sea necesario emplear para completar la construcción de mi cohete.
- 3. Motores.** Utilizaré únicamente motores HPR comerciales que estén certificados para utilizar en modelos HPR. y no los modificaré o los utilizaré para otros propósitos, excepto para los que recomienda el fabricante. Los mantendré bien conservados y alejados, al menos 8 metros, de fuegos, cigarras encendidos, y cualquier otro tipo de fuente de calor.
- 4. Sistema de ignición.** Para lanzar mi HPR utilizaré un aparato de control remoto operado eléctricamente. Los ignitores del motor no se instalarán en el HPR hasta que el modelo esté situado en la rampa de lanzamiento y lejos del área de trabajo. El Sistema de ignición dispondrá de una llave de seguridad conectada en serie con el interruptor de disparo. El interruptor de disparo deberá regresar a la posición de "desconectado" en cuanto quede liberado. Si el cohete posee sistemas electro-pirotécnicos alternativos para la expulsión del Sistema de recuperación, éstos deben tener un mecanismo que los mantenga desconectados hasta que el cohete esté situado en la rampa y esté preparado para ser lanzado.
- 5. Fallos en la ignición.** Si mi cohete HPR no despega cuando presione el interruptor de disparo, retiraré la llave de seguridad, o desconectaré la batería del Sistema de ignición, y esperaré al menos 60 segundos tras el último intento de disparo antes de permitir que alguien se acerque al cohete.
- 6. Seguridad en el lanzamiento.** Realizaré una cuenta regresiva y me aseguraré de que los presentes presten su atención y de que se encuentren fuera del perímetro de seguridad antes de efectuar el lanzamiento. El perímetro de seguridad se establecerá a una distancia mínima indicada en la tabla de Dimensiones de lugar de lanzamiento para HPR. Si no tuviera la certeza de que el modelo es estable y seguro para ser lanzado, realizaré las pruebas que sean necesarias para confirmar su estabilidad antes del lanzamiento.

7. **Lanzadores.** Lanzaré mis HPR desde una rampa o una torre de lanzamiento que sea estable y que proporcione una dirección segura de vuelo, guiando al modelo hasta que éste haya alcanzado la velocidad necesaria para garantizar su vuelo estable. Si la velocidad del viento excede los 8 km/h, la rampa deberá ser suficiente longitud para guiar al modelo hasta que éste alcance la velocidad necesaria que garantice un vuelo estable y seguro. Utilizaré un deflector en la base de la plataforma para evitar el contacto directo de la llama de combustión con el suelo y prevenir así posibles incendios. La distancia de separación entre varias rampas de lanzamiento se corresponderá al mínimo indicado en la tabla de dimensiones del lugar de lanzamiento para HPR. Si el combustible del motor HPR utiliza esponja de Titanio, esta distancia se multiplicará por 1,5.
8. **Tamaño del HPR.** Mi HPR no contendrá ninguna combinación de motores cuya potencia exceda de 40.960 Ns de impulso total. El cohete no pesará mas de un tercio de la potencia media del conjunto de motores HPR que se van a encender en el momento del lanzamiento.
9. **Seguridad en el lanzamiento.** No lanzaré mi HPR dirigido hacia objetivos aéreos o terrestres, hacia el interior de las nubes, o cerca de aeronaves, parapentes o aerostáticos, y no colocaré explosivos o materiales inflamables en la sección de carga útil de mi cohete. No lanzaré mi HPR cuando la velocidad de viento supere los 32 Km/h. Cumpliré con las normas de la Administración en materia de Aviación que corresponda ,y no superaré las cotas de altitud preestablecidas en el área de lanzamiento.
10. **Lugar del lanzamiento.** Lanzaré mis HPR en exteriores, en áreas despejadas de obstáculos. Estas áreas serán tan grandes como se indica en la tabla sobre las dimensiones del lugar de lanzamiento para HPR, y en condiciones meteorológicas propicias, con vientos inferiores a 32 km/h. Me aseguraré de que el lugar de lanzamiento esté despejado de materiales inflamables como hierba seca, grasas, y derivados del petróleo. Lanzaré mi HPR en un área segura para las personas y propiedades privadas y en donde la dimensión más corta sea, como mínimo, de 500 metros y como máximo, al menos, la mitad de la altura que vayan a alcanzar los modelos HPR que se vayan a lanzar.
11. **Emplazamiento de la rampa.** Mi rampa de lanzamiento estará emplazada, como mínimo, a una distancia igual a la mitad de la dimensión del campo, o a 500 metros de cualquier edificio o carretera próxima cuyo tráfico supere los 10 vehículos/hora. Tampoco emplazaré mi rampa de lanzamiento a una distancia inferior a la que se indica en la tabla en relación a la distancia de seguridad mínima para las personas.
12. **Sistema de recuperación.** En mis HPR utilizaré un Sistema de recuperación compuesto de uno o varios paracaídas que garanticen la recuperación sin daños de todas las partes del modelo, y para que puedan ser lanzados de nuevo. Sólo utilizaré Sistemas contra-incendios efectivos que garanticen la protección de los Sistemas de recuperación de mis HPR, compuestos de materiales resistentes a altas temperaturas y protecciones, tal como algodones ignífugos, en el interior de mis HPR.
13. **Seguridad en la recuperación.** No intentaré recuperar un modelo de cohete que haya quedado enganchado en líneas aéreas de alta tensión, árboles altos o sitios peligrosos. ni intentaré agarrarlo antes de que llegue al suelo.

<b>DIMENSIONES DEL LUGAR DE LANZAMIENTO PARA HPR</b>				
<b>Impulso Total utilizado (N-seg)</b>	<b>Tipo de motor</b>	<b>Distancia mínima de seguridad para las personas (mts.)</b>	<b>Distancia mínima para cohetes de una sola fase (mts.)</b>	<b>Distancia mínima para cohetes complejos (mts.)</b>
160,01 - 320	H	30	15	60
320,01 - 640	I	30	15	60
640,01 - 1280	J	30	15	60
1280,01 - 2560	K	60	25	91
2560,01 - 5120	L	91	30	152
5120,01 - 10240	M	152	38	304
10240,01 - 20480	N	304	38	458
20480,01 - 40960	O	458	38	610

Se entiende por cohete complejo, el de varias etapas o con cluster de 2 o mas motores.



## **NORMATIVA FAI SECCIÓN 4b REGLAS GENERALES PARA CONCURSOS INTERNACIONALES**

### **B.1 DEFINICIÓN GENERAL DE UN CONCURSO INTERNACIONAL**

Cualquier prueba de aeromodelismo/modelismo espacial en el cual los concursantes son personas o equipos al menos de dos naciones diferentes. Organizado por el Aeroclub Nacional o con su autorización o participación, bajo las reglas del Código Deportivo Sección 4b, c y d; estos concursos deben incluirse en el calendario deportivo FAI y están abiertos solo a las personas que posean la licencia deportiva FAI vigente.

Las reglas para clases que hayan sido aprobadas sus bases de forma provisional se pueden encontrar en el suplemento del Código Deportivo, publicación 1.993.

### **B.2. TIPO DE CONCURSOS INTERNACIONALES**

#### **B.2.1. Concursos Internacionales Open**

Concursos en los cuales pueden participar todos los aeromodelistas que posean la licencia deportiva FAI. Estos concursos solamente son para las clasificaciones individuales.

#### **B.2.2. Concursos Internacionales Limitados**

Concursos en los cuales todos los aeromodelistas son designados por su Aeroclub Nacional. Estos concursos son para clasificaciones individuales y posiblemente clasificación internacional por equipos.

#### **B.2.3. Campeonatos Continentales**

Son concursos internacionales limitados en los cuales los concursantes son designados por su Aeroclub Nacional y son personas o equipos por lo menos de tres nacionalidades diferentes de un continente. Estos concursos son para clasificaciones individuales y posiblemente clasificación internacional por equipos y solamente pueden organizarse en los años que no hay campeonato del mundo en esta clase en concreto.

#### **B.2.4. Campeonatos del Mundo**

Son concursos internacionales limitados en los cuales los concursantes deben ser designados por su Aeroclub Nacional y son personas o equipos por lo menos de cinco nacionalidades diferentes. Si la inscripción es inferior a cinco naciones diferentes, el campeonato del mundo debe ser cancelado. Estos concursos son para clasificaciones individuales y clasificación nacional por equipos.

Los campeonatos del mundo deben ser planificados y programados por la CIAM.

Normalmente cada campeonato del mundo se celebra cada año alterno.

#### **B.2.5. Copa del Mundo**

Es una clasificación de los resultados de los concursos internacionales open especiales habidos durante un año. Una copa del mundo puede ser organizada por el Subcomité de la CIAM oportuno para cualquiera de las clases reconocidas como campeonatos del mundo.

Si un Subcomité de la CIAM decide organizar una Copa del Mundo debe:

- a) definir normas y asignación de puntuaciones,, estos deben publicarse en el Suplemento del Código Deportivo;
- b) designar anticipadamente los concursos open internacionales del Calendario de Concursos FAI que deben incluirse:
- c) recoger los resultados de cada concurso y asignar las puntuaciones a los concursantes;
- d) elaborar y distribuir las clasificaciones actuales en la Copa del Mundo durante el año.

### **B.3. CONCURSANTES Y EQUIPOS**

#### **B.3.1. Concurstante**

A menos de que se indique lo contrario el concursante nombrado en la hoja de inscripción debe ser el constructor de los modelos inscritos.

#### **B.3.2. Licencias Deportivas**

Cada concursante inscrito en un concurso internacional debe poseer una Licencia Deportiva FAI. Esta Licencia Deportiva es expedida por el Aeroclub Nacional del concursante bajo las condiciones de la Sección General del Código Deportivo y debe llevar la matrícula de identificación nacional. El concursante debe tener como mínimo 10 años de edad.

#### **B.3.3. Delegación y Sustitución de Miembros de un Equipo**

No se permiten vuelos "por poderes" en ninguna de las clases o categorías de aeromodelos y modelos espaciales.

La sustitución de miembros del equipo se permite solamente hasta el momento de la inscripción o previo a la comprobación del modelo, cualesquiera de ambos que ocurra primero.

#### **B.3.4. Clasificación por Edad en el Concurso**

Si hay tres o más inscritos en un Concurso Open Internacional, a efectos de la clasificación individual los que tienen 18 años de edad o menos, deben clasificarse como Juniors.

Se considera que un concursante es un junior durante todo el año en el cual alcanza la edad de los 18 años. Todos los demás concursantes que tienen 19 años o más se clasifican como Seniors.

Esta norma no se aplica en Campeonatos del Mundo o Continentales.

#### **B.3.5. Equipos Nacionales para Campeonatos del Mundo o Continentales**

Un equipo nacional debe constar de tres concursantes individuales, o tres parejas de participantes para cada categoría como máximo, y un Jefe de Equipo. El actual Campeón del Mundo o Continental puede tener el derecho (condicionado a la aprobación de su Aeroclub Nacional) a participar en el siguiente campeonato del mundo o continental de esta categoría a pesar de que se haya clasificado o no para el equipo nacional. Si no es un miembro del equipo nacional, su puntuación no será tomada en consideración en los resultados del equipo.

#### **B.3.6. Jefe de Equipo**

El jefe de equipo puede ayudar a los concursantes. Es la única persona autorizada para tratar con el Jurado o la Organización en el caso de disputas o protestas.

Para concursos de Vuelo Libre, Vuelo Circular y Modelismo Espacial, el jefe de equipo puede tener un ayudante, registrado por la organización, el cual tendrá los mismos derechos que el jefe de equipo excepto que el ayudante no estará autorizado a tratar con el Jurado o la Organización excepto para hacerles entrega de las protestas.

### **B.4. AYUDANTES AUTORIZADOS DEL CONCURSO**

#### **B.4.1. Jueces FAI**

La Organización de todos los concursos Internacionales incluidos en el Calendario Deportivo FAI debe designar un Jurado FAI de tres miembros, al menos dos de ellos serán seleccionados por su competencia en la categoría de los modelos que se volarán en los eventos. Es responsabilidad del Jurado velar para que el evento sea dirigido de acuerdo con las normas relevantes del Código Deportivo Sección 4b, c y d. y quedan autorizados para tomar todas las decisiones necesarias originadas por cualquier circunstancia que pueda aparecer y para fallar en cualquier disputa.

Antes de empezar el concurso, el Jurado FAI debe estar seguro que la Organización ha satisfecho las normas B.7.

El Jurado FAI debe tener al menos una lengua en común.

El Jurado FAI en los Campeonatos del Mundo o Continentales debe permanecer independiente de la organización, lo cual les ha de permitir hacer cumplir las normas de la FAI y actuar como un arbitro independiente en las disputas entre los organizadores y los concursantes.

El Presidente del Jurado en cada concurso internacional debe someter un informe a la FAI antes de un mes de finalizar el concurso. Este informe debe incluir una descripción de cualquier desviación del Código Deportivo Y cualquier circunstancia excepcional que haya surgido.

**B.4.2.** En el caso de campeonatos del mundo el Jurado debe incluir al menos un miembro de la Oficina CIAM o el Presidente de este Subcomité en particular en la CIAM. El segundo miembro debe ser un delegado de la CIAM o alguien que en los últimos 5 años haya participado como Jurado FAI en un campeonato del mundo, o en los 5 últimos años haya participado durante dos años consecutivos en un Subcomité en la misma categoría que la del campeonato del mundo. El miembro restante puede ser designado por el Aeroclub Nacional del país organizador. Siempre que la elección recaiga en otro país primero debe obtenerse la aprobación de dicho juez de su Aeroclub Nacional. Los miembros del Jurado en un campeonato del mundo o de un campeonato continental deben ser de nacionalidades diferentes. Todos los Jurados de un campeonato del mundo y de un campeonato continental deben ser aprobados por la Oficina CIAM. Los miembros de un Jurado Internacional deben tener práctica reciente juzgando y/o experiencia de vuelo con la categoría relacionada.

**B.4.3.** En el caso de campeonatos continentales, el Jurado debe incluir al menos un delegado de la CIAM. Los otros dos miembros pueden ser designados por el Aeroclub Nacional del país organizador; siempre que la elección recaiga en otro país, primero debe obtenerse la aprobación de dicho juez de su Aeroclub Nacional. Los miembros del Jurado en un campeonato continental deben ser de nacionalidades diferentes.

**B.4.4.** En el caso de otros eventos internacionales, el jurado debe incluir al menos un delegado de la CIAM o una persona aprobada por el Aeroclub Nacional. Los otros dos miembros pueden ser designados por el Aeroclub Nacional del país organizador. Los miembros del Jurado deben ser al menos de dos naciones diferentes.

La composición del Jurado debe comunicarse antes del comienzo del evento. Los miembros del Jurado no pueden competir en el evento, excepto cuando el horario proporcione una subdivisión en categorías. En este caso, uno o dos miembros del jurado pueden competir en una categoría y entonces deben ser reemplazados por miembros del jurado de reserva (que no compitan en esta categoría) para todos los asuntos relacionados con esta categoría. Los jueces de reserva deben escogerse de tal forma que el Jurado siempre cumpla las normas de nacionalidad y lenguaje.

**B.4.5. Miembros autorizados (Jueces, Cronometradores, etc.)**

La organización puede nombrar cronometradores y otros miembros autorizados de otros países siempre que hayan sido aprobados por su propio Aeroclub Nacional.

**B.4.6.** El Aeroclub Nacional responsable de la organización de un Campeonato del Mundo o de un Campeonato Continental debe remitir a la CIAM u Oficina CIAM los nombres de las personas que deberán hacer de jueces para su aprobación. Los Jueces Internacionales deben tener practica reciente juzgando y/o experiencia de vuelo en la categoría para la cual son seleccionados.

**B.4.7.** El organizador de una competición CIAM FAI debe pagar los gastos del grupo de jueces y jurado en concepto de acomodación y comidas durante la duración de la competición, y todos los costes de transporte hasta y desde el lugar de la competición (tarifa aérea: clase económica). Esto no se aplica a ningún miembro del jurado que participe en la competición bajo los términos de B.4.4.

**B.5. ORGANIZACIÓN DE UN CONCURSO INTERNACIONAL**

**B.5.1.** Cada Concurso Internacional en el Calendario Deportivo FAI debe organizarse conforme con el Código General Deportivo Sección y Secciones 4b, 4c y 4d.

Se deben seguir los consejos de las Guías de Organizadores CIAM apropiadas.

**B.5.2. Eventos de Campeonatos del Mundo o Continentales**

La CIAM decidirá que evento se deberá celebrar como Campeonato del Mundo y Campeonato Continental y a que Aeroclub Nacional se le delegará la responsabilidad para la organización de este evento.

**B.5.3. Normas del concurso**

Todos los concursos internacionales incluidos en el Calendario Deportivo FAI deben celebrarse de acuerdo con el Código Deportivo General Sección y Secciones 4b., 4c y 4d o normas provisionales acordadas por la CIAM.

Las normas deben mostrarse en la zona del concurso en la lengua del país organizador y en una de las lenguas oficiales.

**B.5.4. Normas Locales**

Las normas locales establecidas por los organizadores no deben publicarse más tarde que el último boletín este a disposición de todos los competidores, preferiblemente con anterioridad a la fecha límite para las inscripciones. Las reglas locales decididas mas tarde deben remitirse por escrito antes de que empiece el concurso.

**B.6. INFORMACIÓN SOBRE EL CONCURSO Y CUOTAS DE INSCRIPCIÓN**

**B.6.1.** Debe remitirse un primer memorándum con información y hojas de inscripción a los Aeroclubs Nacionales, también a los miembros del jurado y jueces como mínimo tres meses antes del concurso.

**B.6.2.** La cuota de inscripción consistirá en una cantidad obligatoria que deberán pagar todos los participantes y jefes de equipo y una cuota opcional que cubra alojamiento y alimentación. Si se requiere una cuota obligatoria para ayudantes y espectadores no debe exceder del 20% de la cuota obligatoria para competidores. Ejemplos que contribuyen al cálculo de la Cuota de Inscripción Básica son (aplicable de acuerdo con las circunstancias locales): alquiler del terreno para el concurso y costes de preparación, y organización. Los Costes de organización consisten en reuniones/desplazamientos del comité organizador, alquiler o compra del equipo necesario para el concurso (si todavía no se tiene), como sistemas de cronometraje, cuentavueltas, aparatos ópticos, equipo para inspección, pizarras de puntuaciones, intercomunicadores, equipo para el control de frecuencias, hojas para las puntuaciones, banderas, mástiles, etc.; costes de formación y sesiones informativas para los miembros autorizados y personal, información impresa; bolsa de recuerdos; importe del viaje, pensión y alojamiento de los miembros autorizados, jueces y jurado; licencias y permisos (Correos y Telecomunicaciones, autoridades locales); papel, sellos (boletines informativos, correspondencia); alquiler de tiendas.

**B.6.3.** Si fuera posible conseguir un patrocinador para uno o más de los artículos mencionados antes. Esto tendría como resultado una cuota básica más baja, por lo tanto el patrocinio es sumamente recomendado. No obstante, solamente se puede tener en cuenta el patrocinio si es absolutamente seguro que se podrá obtener, en caso contrario es de esperar una pérdida. Las negociaciones de patrocinio deberán iniciarse lo antes posible.

**B.6.4.** Se pueden ofrecer cuotas adicionales por separado a elegir para: alojamiento-hotel y camping; alimentación (banquete no incluido); y banquete (y posiblemente otros acontecimientos adicionales). Cuota máxima posible = cuota básica + alojamiento (hotel) + comida + banquete.

El coste de acomodación en hotel se debe mantener dentro de los límites aceptables. Tengan en cuenta que la acomodación en hotel es a menudo la única posibilidad para los concursantes de ultramar. La acomodación en aceptable clase media estándar será suficiente. No hay ninguna necesidad de lujos. Lo mismo se puede decir de la comida.

**B.6.5.** Los resultados deben enviarse a la FAI y a los Aeroclubs Nacionales que tomaron parte en el evento dentro de un intervalo de un mes. Los resultados deben incluir el nombre completo y la nacionalidad de los inscritos y en eventos de maquetas también hay que incluir el nombre del avión real y modelo espacial volado por el participante.

**B.6.6.** La organización debe dar acuse de recibo del impreso y la cuota de inscripción.

## **B.7. REQUISITOS ESPECIALES PARA LA ORGANIZACIÓN DE UN CONCURSO**

Los organizadores deben:

- B.7.1.** Asegurar un mínimo suficiente de miembros autorizados cualificados, cronometradores y Jueces FAI internacionales.
- B.7.2.** Equiparse con los aparatos de medida necesarios para comprobar las características de los aeromodelos en cuestión.
- B.7.3.** Dar oportunidad a los concursantes para que puedan determinar las características de sus modelos con el equipo oficial de medida. antes del concurso.
- B.7.4.** Facilitar un día de prácticas como mínimo previo al concurso, que será anunciado en la invitación juntamente con el programa de vuelos de la competición. Para modelos de Vuelo Libre el programa de vuelos es FIA, FIC y FIB.  
Los organizadores deberán facilitar un programa para el día oficial de prácticas, dando igual tiempo de práctica a todos los concursantes. El día de prácticas no debe prolongarse de tal forma que pueda retrasar el inicio de la competición oficial. Los días de lluvia se deben reservar para los vuelos oficiales.
- B.7.5.** La organización debe igualmente comunicar el nombre y la dirección de una persona de contacto, la cual será capaz de informar a los equipos extranjeros.
- B.7.6.** Mostrar los resultados de cada manga durante el concurso, y publicar los resultados oficiales mas tarde. Los resultados publicados no deberán contener ninguna información estadística o detalle adicional mas que aquellos requeridos por el Código Deportivo.
- B.7.7.** Proporcionar en cada puesto de salida un par de cronometradores para los campeonatos de V/L o al menos un cronometrador para concursos de V/L (tres cronometradores con prismáticos en el caso de finales de Vuelo Libre).
- B.7.8.** Disponer de una zona adecuada para el concurso que permita al modelo desarrollar sus características máximas y su recuperación segura.

## **B.8. RADIO CONTROL**

- B.8.1.** Cada día, antes de empezar la competición, todos los transmisores que en el lugar de la competición serán utilizados en el concurso durante ese día deben depositarse y mantenerse bajo la supervisión de un ayudante especial. Este ayudante entregará el transmisor al participante solamente cuando este es llamado para realizar su vuelo (conforme con los procedimientos descritos para cada categoría en particular). Los ayudantes de pista deberán vigilar al participante(s) para evitar que enciendan el transmisor(es) antes de que el Director de pista haya dado permiso para hacerlo. La frecuencia del transmisor debe aparecer en su exterior, en el módulo enchufable o en el interruptor de cambio de frecuencia. Además, los transmisores con sintetizador de frecuencias deben diseñarse para mostrar la frecuencia en uso, y para poder cambiar de frecuencia sin transmisión de Radio Frecuencia.  
Salvo indicación contraria en el reglamento para una categoría en particular solo se permite al concursante una frecuencia para el concurso.  
**Nota:** El director del concurso puede asignar otra frecuencia individual en el caso de una demostrada interferencia. *El añadido en el epígrafe B. S. I., es de efectividad inmediata*
- B.8.2.** Tan pronto como el vuelo haya terminado, el participante debe retornar inmediatamente su transmisor al miembro de la organización depositario. Cualquier transmisión no autorizada durante el periodo del concurso tendrá como resultado la descalificación automática del transgresor para la totalidad del concurso así como quedar sujeto a otras sanciones.
- B.8.3.** La organización debe aportar un monitor de radio adecuado (analizador de espectro) con el propósito de determinar interferencias de radio, y un sistema para comunicar esta información al piloto(s) y/o Director de vuelo. Caso de que no se acuerde otra cosa en contra, el orden inicial de comienzo de los participantes y países debe establecerse por

medio de un sorteo aleatorio antes del concurso, teniendo en cuenta que las frecuencias no se sigan y que tampoco se sigan miembros de un mismo equipo.

- B.8.4.** La organización debe inspeccionar el lugar de cualquier concurso donde se ha de realizar una prueba radio controlada con la finalidad de, determinar posibles causas de interferencias de radio que puedan afectar a cualquier concursante. Cualquiera de estas posibles causas debe informarse tan pronto como sea posible a los Aeroclub Nacionales participantes. Bandas de frecuencias o frecuencias específicas que hayan mostrado estar razonablemente libres de interferencias en el lugar de la competición también deben ser comunicadas a los Aeroclubs Nacionales.

Los organizadores deben realizar pruebas en el lugar del concurso durante la semana y fines de semana para determinar si existe algún patrón de interferencias de radio y notificar a los Aeroclub Nacionales si hay algún problema adicional, -muchas actividades comerciales o industriales son un problema durante la semana-. En cualquier caso es responsabilidad del organizador asegurarse que todos los concursantes en una prueba radio controlada son informados con antelación sobre cualquier problema de interferencias de radio conocidas que puedan existir en el campo de vuelo.

## **B.9. CRONOMETRAJE**

**B.9.1.** Nota: Este párrafo se aplica solamente a Vuelo Libre y Modelismo Espacial

**B.9.2.** Nota: Este párrafo se aplica solamente a Vuelo Libre y Modelismo Espacial

**B.9.3.** Nota. Este párrafo se aplica solamente a Vuelo Libre y Modelismo Espacial

**B.9.4.** Nota: Este párrafo se aplica solamente a Vuelo Libre y Modelismo Espacial

**B.9.5.** Nota: Este párrafo se aplica solamente a Vuelo Libre y Modelismo Espacial

**B.9.6.** Nota: Este párrafo se aplica solamente a Vuelo Libre y Modelismo Espacial

**B.9.7.** Nota: Este párrafo se aplica solamente a Vuelo Libre y Modelismo Espacial

## **B.10. DURACIÓN DEL CONCURSO**

**B.10.1.** Concursos al aire libre (incluidos los fly-off) deben realizarse entre las horas del amanecer y el ocaso, excepto para las clases FIA, FIB y FIC y también para la duración de Modelismo Espacial; en estas clases y para lograr que se celebren tantas mangas como sea posible, cuando el viento y la actividad térmica es previsiblemente al mínimo, los concursos pueden iniciarse antes del amanecer si la distancia cubierta por los modelos en relación con el tamaño del campo de vuelo aconseja una interrupción del concurso durante la parte mas ventosa del día. Semejantes interrupciones pueden incluirse en el programa del concurso o decididas por los organizadores con la aprobación del Jurado.

**B.10.2.** El programa del concurso incluyendo la duración de cada manga, las horas de comienzo y término del concurso deben indicarse claramente en las normas.

## **B.11. INTERRUPCIÓN DEL CONCURSO**

**B.11.1.** El concurso puede ser interrumpido o su comienzo retrasado por el Jurado si:

- a) El viento es continuamente más fuerte de 12 m/s. (43,2 Km/h.). 9 m/s para Vuelo Libre y Maquetas medido a 2 metros por encima del suelo en la línea de salida (línea de vuelo) al menos durante un minuto (20 segundos para vuelo libre), a menos que se especifique lo contrario en las reglas de cada categoría.
- b) La visibilidad prohíbe la correcta observación de los modelos (especialmente en el caso de concursos de V.L. o R.C.) o debido a las condiciones atmosféricas pudiera ser peligroso continuar con el concurso.
- e) Si es necesario reponer la línea de salida. Esto solamente puede llevarse a cabo entre mangas.
- d) Las condiciones prevalecientes son tales que pueden darse unos resultados deportivos inaceptables.

e) Para los concursos de F3A, F3C y F4C si el sol está en la zona de maniobras.

**B.11.2.** En los casos descritos, la organización no está obligada a devolver el importe de las inscripciones o a repetir el concurso. Un concurso puede interrumpirse después de acabar como mínimo una manga completa. Los resultados se basarán en las puntuaciones de las mangas terminadas.

**B.11.3.** Un concurso interrumpido se puede prolongar si se han cumplido las condiciones del punto B.10.1.

## **B. 12. CLASIFICACIONES Y PREMIOS EN LOS CAMPEONATOS DEL MUNDO**

### **B. 12.1. Clasificación individual.**

- a) A cada categoría del concurso se concederá una medalla y un diploma de FAI a los participantes situados en la primera, segunda y tercera posición.
- b) Si es un trofeo tipo Challenge, se concede al Aeroclub Nacional del participante vencedor para su custodia hasta el siguiente campeonato.
- e) El campeón ganará el título de Campeón del Mundo en la categoría.

### **B.12.2. Clasificación Internacional del Equipo.**

- a) En cada clase la FAI concederá un diploma a cada miembro del equipo (incluido el jefe de equipo) mejor y se concederá un Trofeo Challenge al equipo ganador para su Aeroclub Nacional aceptando su custodia hasta el campeonato siguiente.
- b) La clasificación internacional por equipos se establece tomando el total de las puntuaciones de los tres miembros del equipo conjuntamente. En el caso de un empate de equipos,, el equipo con una menor suma del numero de clasificación, dados en orden a partir del primero, ganará. Si el empate continúa, la clasificación individual lo decidirá mejor.

## **B. 13. CONTROL DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL MODELO**

**B.13.1.** El concursante puede intercambiar varias partes conforme a sus deseos a condición de que el modelo resultante esté conforme a las reglas del concurso y que esas partes hayan sido controladas antes de empezar el concurso.

**B.13.2.** Las reparaciones se permiten a condición de que estas no alteren de ninguna forma las características del modelo, tal y como esta definido en la reglas y reglamentos.

**B. 13.3.** Cuando, después de la comprobación oficial, un modelo se pierda o estropee, el concursante tendrá derecho a presentar otro modelo para su control hasta una hora antes del inicio oficial del concurso. En cualquier prueba, el participante solo puede tener disponibles el numero de modelos inscritos (ver 4c, 2.3. 1. y 4d, 4.2.) al inicio del concurso.

**B.13.4.** La organización debe nombrar como mínimo dos encargados para los controles, los cuales comprobaran aleatoriamente las características mas importantes de los modelos, al menos de un 20% de los modelos concursantes durante el tiempo oficial del concurso.

**B.13.5.** Los resultados están condicionados a una nueva comprobación de las características del primer, segundo y tercer modelos ganadores.

## **B. 14. RECLAMACIONES**

**B. 14.1.** Todas las reclamaciones serán presentadas por escrito al Director del Concurso en la competición y deberán acompañarse de un deposito o cuota. La cuantía de la cuota se fijara de acuerdo con las normas locales. Este depósito será devuelto solamente si la protesta es aceptada.

**B.14.2.** Tiempo limite para presentar las reclamaciones:

- a) Antes del comienzo del concurso:

Reclamaciones contra la validez de una inscripción, calificación de los participantes, normas del concurso, zona de vuelo y zona del campeonato, control de modelos, jueces u otros m

miembros de la organización, debe presentarse como mínimo una hora antes del comienzo del concurso..

b) Durante el concurso:

Reclamaciones contra una decisión de los jueces u otros miembros oficiales de la organización o contra un error o irregularidad cometida durante la prueba por cualquier participante o contra el jefe del equipo, debe presentarse inmediatamente.

c) Después de la publicación de resultados:

Cualquier reclamación relativa a los resultados debe tramitarse a través de los Aeroclubs Nacionales dentro de los 15 días siguientes a la publicación de los resultados por la organización. Si fuera necesario esta reclamación puede ser remitida a la CIAM.

## **B.15. PRECAUCIONES DE SEGURIDAD E INSTRUCCIONES**

La gran mayoría de los modelos que vuelan hoy en día en la mayoría de los países se toma como un recreo, mas que un asunto de competición, y algunas veces en lugares de acceso público con o sin un pequeño control formal. Cualquier accidente que involucre a un aeromodelo puede tener como resultado un daño a la propiedad privada, lesión y hasta posibilidad de muerte. Aparte del daño directo, un resultado menos obvio es la pobre imagen que se produce del aeromodelismo en los medios de comunicación que cubren esta clase de accidentes, los cuales conducen al público a un cierto antagonismo y la pérdida de campos para el vuelo.

Mientras que la siguiente información es necesaria ante todo para vuelos de competición FAI, muchas de estas pueden ser aplicadas tanto en concursos domésticos como de vuelo recreativo.

### **B.15.1. Premisa**

Es de la máxima importancia que todos los aeromodelistas observen las reglas de seguridad. Cualquier accidente causado por la falta de atención es un obstáculo para el progreso del aeromodelismo.

Las reglas de seguridad no son un obstáculo para el disfrute del vuelo de modelos, estas ayudan a demostrar que los aeromodelistas son la gente responsable que proclaman ser.

No es un signo de inteligencia mostrar su pericia entre los espectadores. El piloto puede saber lo que está haciendo pero no tiene forma de conocer que harán las demás personas. En consecuencia, es en su personal beneficio contribuir a que ninguna acción por su parte tenga como resultado un accidente. Es por lo tanto muy importante no volar ningún aeromodelo ya sea en competición o en presencia de espectadores hasta que haya sido ensayada su fiabilidad mediante un vuelo previo de comprobación.

### **B.15.2. Competencias**

Los siguientes miembros oficiales están capacitados para aplicar y hacer cumplir las normas de seguridad:

El Jurado, Los Jueces del Concurso, el Director del Concurso, los miembros autorizados en las pistas, los Cronometradores, el personal autorizado para la comprobación de los modelos, los Dirigentes de la Organización, el Club y otros miembros oficiales.

### **B.15.3. Prohibido**

- a) Hélices o palas de rotores con aspas metálicas.
- b) Hélices o palas de rotores reparados.
- e) Motores montados incorrectamente:
- d) Aristas afiladas.
- e) Conos o tuercas de hélice puntiagudos.
- f) Equipos de radio sin protección para los golpes, donde hay vibraciones de motores.
- g) Cualquier contrapeso o parte pesada que pueda ser proyectado.
- h) Cualquier fusible que pueda quemarse que; no esté encapsulado en un tubo hermético o dispositivo similar que lo sostenga y extinga.

### **B.15.4. Recomendado**

- a) El modelo debe llevar una identificación de su propietario.
- b) Todos los conos o cualquier pieza metálica o saliente rígido deben tener un mínimo de 5 mm. de radio.

**B. 15.5. Vuelos previos de comprobación**

Inmediatamente antes de cada vuelo, el piloto debe verificar las condiciones actuales y el correcto funcionamiento de todos los elementos que contribuyen a un vuelo eficiente y seguro del modelo y la correcta colocación y fijación de las diferentes partes, con especial referencia a los motores y las hélices.

Modelos que no hayan sido ensayados y probada su fiabilidad no deben ser volados en presencia de espectadores. Hay que esforzarse en conducir todos los vuelos de tal manera que se eviten peligros a los espectadores u otros pilotos.

- B.15.6.** Inmediatamente después de que el participante haya hecho despegar su modelo, debe abandonar la zona de arranque; retirar su equipo y en el caso de planeadores enrollar su cable de remolque.

**B.15.7. Lugares de vuelo**

Es imperativo que todos los lugares de vuelo estén situados tan lejos como sea posible de las líneas eléctricas.

La zona de salida debe escogerse con mucho cuidado de tal forma que la seguridad de personas o cosas quede garantizada. Los puntos a tener en cuenta en esta elección son: fuerza del viento y dirección, posición relativa de los edificios, carreteras, aparcamientos de vehículos, zona de espectadores y el lugar presumible para el aterrizaje en un vuelo normal, de acuerdo con el viento.

Zonas de vuelo dentro de los 5 Km. de un aeropuerto, especialmente dentro de la senda de aterrizaje, solo pueden utilizarse como zonas para concursos solo con la autorización del controlador del aeropuerto y conforme con sus reglas de seguridad y requisitos.

**B.15.8. Sanciones**

Todos los modelos peligrosos deben ser excluidos de las competiciones. Para cualquier acción contra las Reglas de seguridad, aplíquese la lista de sanciones en el Código Deportivo Sección General.

**B.16. DESCALIFICACIÓN DEL CONCURSO**

- B.16.1.** Todos los concursantes que hagan uso de un modelo, equipo o combustible no conforme en su totalidad con los reglamentos y reglas del concurso o que no hayan sido verificados por los organizadores, serán descalificados del concurso.

- B.16.2.** Se aplicara la descalificación después de cualquier acto contrario al artículo B.3.

- B.16.3.** El jurado deberá notificar inmediatamente al Jefe de Equipo la descalificación y citar las razones.

**B.17. TROFEOS DE CAMPEONATOS FAI****B.17.1. Custodia**

Todos los trofeos que hayan sido adoptados por la CIAM para premiar a un campeón individual de un concurso o equipo serán considerados en custodia por la FAI.

**B.17.2. Posesión**

Dependiendo de las condiciones de la concesión, se puede considerar que un trofeo es propiedad de la FAI o del donante. La Oficina de la FAI mantendrá un registro de las posesiones.

**B.17.3. Adjudicación**

Los trofeos serán adjudicados al usufructuario cada dos años. En los casos en que por cualquier circunstancia un trofeo no ha sido adjudicado en un período de 5 años, la custodia del trofeo revertirá al donante.

**B.17.4.** Los usufructuarios de los trofeos serán responsables de:

- a) Mantener el trofeo en buenas condiciones.
- b) Grabar el nombre del ganador y la fecha del premio de la misma forma establecida por los ganadores anteriores.
- e) Asegurarlo contra pérdidas durante el período de usufructo.
- d) Devolver el trofeo a los organizadores del siguiente campeonato a la dirección v en la fecha solicitada por los organizadores.

**B.17.5.** A efectos de identificación, el usufructuario será el Aeroclub Nacional involucrado.

**B.17.6. Colecciones de trofeos**

Los organizadores de los campeonatos serán responsables de:

- a) Si no se solicita lo contrario, el trofeo será entregado al Aeroclub Nacional de los organizadores al menos seis semanas antes de la fecha de los campeonatos.
- b) Suministrar a la Oficina de la FAI copias duplicadas de toda la correspondencia y el nombre y dirección del siguiente usufructuario del trofeo.
- e) Obtener una carta de acuse de recibo de un miembro autorizado del Aeroclub Nacional.

**B.17.7. Registro de trofeos**

La Oficina (de la FAI) deberá mantener un registro maestro/listado de los trofeos y usufructuarios, donantes y condiciones de la concesión y aceptación. Este registro será actualizado por el Secretario no mas tarde de la reunión anual de la CIAM de cada año.

**B.17.8. Aceptación de trofeos**

Los donantes de trofeos considerados como a "Perpetuidad" (por ejemplo: que queden en poder de la FAI o del donante) y propuestos como premios en campeonatos deben declarar su propósito a la CIAM no mas tarde de la fecha en que se cierra la agenda de cada año. La aceptación del trofeo estará condicionado por una votación a favor de una mayoría de los miembros de la CIAM.

**B.17.9. Pérdida**

En el caso de pérdida, o imposibilidad para presentar un trofeo en el campeonato, los organizadores de los campeonatos deben presentar una declaración de las causas a la CIAM v proponer su sustitución la cual se pondrá en consideración del donante del trofeo original y de la CIAM.

Traducción del original en inglés versión 1: Joaquín A. y José M. Rojo Ara (Jueces Nacionales F-3A)

Traducción del original en inglés versión 2: José Antonio Lejarza (Juez Internacional F3A)

Versión 1: 1 de Octubre 1.995

Versión 2 1 de Septiembre de 1.999



## **Proyecto de Real Decreto aprobando el Reglamento sobre Régimen de utilización de las aeronaves excluidas del régimen General sobre registro, obtención de certificado de Aeronavegabilidad y título aeronáutico para su pilotaje.**

El artículo 151 de la Ley sobre Navegación Aérea, en la redacción dada al mismo por el artículo 63 de la Ley 55/1999, de 29 de diciembre, sobre medidas fiscales, Administrativas y de orden Social, ha abierto la posibilidad de excluir del régimen general de las aeronaves civiles a aquellas construcciones que aún siéndolo de acuerdo con la definición que de las mismas da su artículo 11, sin embargo sus "limitados usos, características técnicas y actuaciones" justifican se les exima del cumplimiento de los requisitos de inscripción en el Registro de Matrícula de Aeronaves, obtención de certificado de Aeronavegabilidad y exigibilidad de título aeronáutico para su pilotaje.

La necesidad de contar con una regulación específica de aquellas construcciones que precisen esfuerzo físico de su ocupante para el despegue o aterrizaje, era evidente desde que fueron objeto de reglamentación las aeronaves de estructura ultraligera, cuyo régimen jurídico se les ha venido aplicando transitoriamente ( ver Disposición Transitoria Tercera del Real Decreto 151/1999, de 15 de octubre) hasta tanto se dispusiera de cobertura legal para excluirlas del régimen general de las aeronaves civiles en los tres aspectos indicados.

De otra parte esta modalidad de aviación deportiva ha adquirido un gran auge tanto en lo que se refiere a la extensión de su práctica, como en cuanto a la variedad de construcciones que solamente precisan del esfuerzo físico de su ocupante para emprender el vuelo, lo que hace aún más necesario disponer de un marco jurídico que establezca las condiciones y requisitos para su utilización de modo que queden adecuadamente protegidos los propios usuarios y los terceros en la superficie, así como para seguridad del tráfico aéreo en general.

El Reglamento que se aprueba por este Real Decreto delimita su objeto o ámbito de aplicación clasificando y definiendo las construcciones objeto del mismo y en base a ello determinando los requisitos que deben cumplirse para su utilización, las condiciones de seguridad que debe cumplir el material y, finalmente las limitaciones que se imponen a su utilización, motivadas por razones evidentes de no interferencia con el tráfico aéreo general.

Complementariamente a lo anterior, se ha estimado oportuno reglamentar, asimismo por razones de seguridad del tráfico aéreo, la utilización de aquellas construcciones no tripuladas que utilizan también la atmósfera para desplazarse, tales como los aeromodelos y cohetes. Por último, se incluyen también bajo este régimen los globos cautivos no tripulados cuya utilización publicitaria está tomando un importante auge.

En su virtud, a propuesta del Ministro de Fomento, de acuerdo con el dictamen del Consejero de estado y previa deliberación del Consejo de Ministros en su reunión de... //

DISPONGO

### **Artículo 1º. Objeto.**

El presente Reglamento tiene por objeto establecer las condiciones que deben de cumplir aquellas aeronaves de limitados usos, características técnicas y actuaciones, para que puedan quedar exceptuadas de los requisitos de inscripción en el Registro de Matrícula de aeronaves y de la obtención del certificado de aeronavegabilidad, así como la exigencia del título aeronáutico que para tripular aeronaves requiere la Ley sobre Navegación Aérea.

Asimismo se establecen las condiciones para pilotar esta clase de construcciones y para la utilización del espacio aéreo mediante ingenios no tripulados.

### **Artículo 2º. Clasificación.**

Las construcciones comprendidas en el ámbito de aplicación del presente Reglamento se clasifican en las dos siguientes categorías:

#### 1. Tripuladas:

- a) Alas de vuelo libre.
- b) Parapentes y paramotores.
- c) Otras construcciones que precisen del esfuerzo físico de su ocupante para el despegue o aterrizaje.

#### 2. No tripuladas:

- a) Globos cautivos.
- b) Aeromodelos.
- c) Cohetes.**
- d) Otros ingenios controlados desde tierra mediante sistemas de teledirección. e) Globos libres no tripulados.

**Artículo 3º. Definiciones.**

1. Alas de vuelo libre. Se consideran alas de vuelo libre aquellas estructuras dotadas de superficies sustentadoras, rígidas o semirrígidas, que precisan de la acción humana para desplazarse por la atmósfera
2. Parapentes. Se consideran parapentes aquellas estructuras no rígidas para cuyo transporte, despegue y aterrizaje se requiere únicamente el esfuerzo físico del ocupante.
3. Paramotores. Se consideran Paramotores los parapentes que cuentan como sistema de propulsión con un motor incorporado al arnés del piloto lo que permite despegar a pie desde un terreno llano en una trayectoria ascendente.
4. Globos cautivos. Se consideran globos cautivos aquellos aeróstatos no susceptibles de ser tripulados que principalmente se sostienen en el aire en virtud de su fuerza ascensional y que no se desplazan en la atmósfera por cuanto permanecen amarrados a tierra. Se consideran incluidos en esta definición los aeróstatos de forma alargada provistos de lóbulos estabilizadores conocidos como "globos cometa".
5. Aeromodelos. Se consideran aeromodelos los aerodinos y aeróstatos no susceptibles de ser tripulados, manejados o no desde tierra, siempre que sean utilizados con fines exclusivamente deportivos, de recreo o de investigación científica.

**6. Cohetes. Se consideran cohetes aquellos ingenios que cuentan en su interior con un motor propulsor que les permite ascender en la atmósfera sin que su sustentación en la misma dependa de las reacciones del aire.**

7. Globos libres no tripulados. Se considera Globos libres no tripulados aquellos aeróstatos no susceptibles de ser tripulados ni controlados, utilizados para fines de investigación o científicos en general.

**Artículo 4º. Construcción.**

1. La construcción y ensamblaje en España de alas de vuelo libre, parapentes, Paramotores, globos cautivos, aeromodelos, cohetes y otros ingenios controlados o no desde tierra, se regirá por la normativa general o autonómica que sea de aplicación. El fabricante o distribuidor de los equipos referidos deberá facilitar al adquiriente el manual de usuario y, el de mantenimiento.
2. Todos los ingenios no tripulados, así como los globos cautivos dispondrán necesariamente de un dispositivo de autodestrucción o desinflado que se accione de modo automático o desde tierra en caso de producirse su descontrol o la ruptura del amarre.

**Artículo 5º. Práctica de vuelo.**

1. Para la práctica de vuelo con las construcciones reseñadas en el artículo 2, apartado 1, deben cumplirse las siguientes condiciones mínimas:
  - a) Ser mayor de 18 años o menor de edad siempre que se encuentre con la autorización de quien ostente la patria potestad o tutela.
  - b) Disponer del documento federativo que acredite haber adquirido los conocimientos adecuados para la utilización del equipo de que se trate y los relativos a las normas sobre circulación aérea en vuelo visual (VFR).
  - c) Tener concertado un seguro de responsabilidad civil en los términos señalados en el artículo 9º del presente reglamento.
  - d) Encontrarse el equipo en condiciones adecuadas para el vuelo, de acuerdo con las instrucciones publicadas por el fabricante.
2. La utilización de las construcciones no tripuladas reseñadas en el artículo 2, requiere el cumplimiento de las condiciones mínimas exigidas en los apartados a), c), y d) del punto 1.
3. A efectos de la circulación aérea y sin perjuicio de lo dispuesto en el artículo 6, apartado 1, no se requerirá la presentación de plan de vuelo ni solicitar servicios de tránsito aéreo.

**Artículo 6º. Limitaciones de Vuelo.**

1. Cumplidos todos los requisitos establecidos en el artículo anterior, las construcciones tripuladas podrán ser utilizadas en el espacio aéreo con sujeción a las limitaciones siguientes:
  - a) Cumplir las condiciones de uso fijadas por el fabricante del equipo.
  - b) Cumplir las normas sobre circulación aérea, efectuando el vuelo según las reglas del vuelo visual.
  - c) No podrán introducirse en zonas prohibidas o restringidas al vuelo ni en zonas peligrosas activadas.
  - d) No podrán volar a una distancia inferior a 10 Kilómetros del punto de referencia de los aeropuertos, aeródromos y bases aéreas ni a dos Kilómetros respecto a los helipuertos civiles y militares.
  - e) No podrán volar a alturas superiores a los 300 metros.
  - f) No podrán sobrevolar zonas urbanas ni aglomeraciones de personal al aire libre
  - g) No podrán transportar un ocupante salvo que se trate de un vuelo de escuela o se cuente con la licencia federativa específica.
  - h) No podrán utilizarse entre la puesta y la salida del sol.

2. La utilización de construcciones no tripuladas queda sujeta a las siguientes limitaciones:
- No podrán introducirse en zonas prohibidas o restringidas al vuelo ni en zonas peligrosas activadas
  - No podrán volar a una distancia inferior a 10 Kilómetros del punto de referencia de aeropuertos aeródromos y bases aéreas ni a 2 Kilómetros respecto de los helipuertos civiles y militares.
  - No podrán volar en alturas superiores a los 300 metros. No obstante, cuando se prevea superar la altura de 300 metros el interesado solicitará con la suficiente antelación, la correspondiente autorización del aeropuerto, base aérea o helipuerto más próximo al lugar donde se prevea iniciar el vuelo.
  - No podrán utilizarse entere la puesta y la salida del sol.
  - No podrán utilizarse en un área con visibilidad inferior a 300 metros.
  - No podrán ser utilizados de modo que puedan suponer un peligro para las personas o cosas en la superficie.
  - Si el globo se libera de su ligazón a tierra y el dispositivo de autodestrucción o desinflado no entrara en funcionamiento, el titular o usuario lo comunicará de inmediato al aeropuerto o Centro de Control de Tránsito Aéreo más cercano, indicando el punto de escape y el rumbo estimado de vuelo.

#### **Artículo 7º. Centros de Vuelo.**

Son Centros de Vuelo los dedicados a impartir las enseñanzas teóricas y prácticas necesarias para la utilización de alas de vuelo libre y parapentes en sus distintas modalidades.

La apertura de estos Centros no requiere autorización de la Dirección General de Aviación Civil, pero su emplazamiento y la operación que en el mismo se desarrolle no podrá interferir el tránsito aéreo.

#### **Artículo 8º. Responsabilidad por daños.**

El régimen de responsabilidad por daños causados por las construcciones a que se refiere este Reglamento será el establecido, para las aeronaves, en la Ley sobre la Navegación Aérea y en sus normas de desarrollo.

#### **Artículo 9º. Seguros obligatorios.**

***Para la práctica de vuelo con construcciones tripuladas o no y demás ingenios a que se refiere presente Reglamento ha de tenerse concertado previamente y con carácter obligatorio un seguro responsabilidad civil y, en su caso el de ocupantes.***

#### **Artículo 10º. Régimen sancionador.**

Las infracciones a lo dispuesto en el presente Reglamento, se regirán por las normas en materia sancionadora aplicables a la aviación civil.

Disposición Derogatoria Única. Derogación normativa.

Queda derogado el apartado 2 del artículo 2º de la Orden de 24 de abril de 1986, así como cualquier otra disposición de igual o inferior rango que se oponga a lo dispuesto en este Real Decreto.

Disposición Final Primera. Las personas que a la entrada en vigor del presente Real Decreto cumplan los requisitos establecidos en el artículo 5º.1, excepto el de contar con el seguro obligatorio de responsabilidad civil, deberán concertarlo en el plazo máximo de un mes a partir de dicha entrada en vigor o, en su caso, adaptarlo dentro del mismo plazo al régimen de responsabilidad por daños establecido en el artículo 8º de este Reglamento.

Disposición Final Segunda. Facultad de desarrollo. Se autoriza al Ministro de Fomento a dictar las disposiciones necesarias para el desarrollo de este Real Decreto.

Disposición Final Tercera. Entrada en vigor. Este Real Decreto entrará en vigor el día siguiente a su publicación en el Boletín Oficial del Estado.

## ÍNDICE ALFABÉTICO

- A**
- abrazadera**
    - para la guía, 5, 32
    - del motor, 30, 37, 38
  - accesorios, 79**
  - accidentes, 17, 19, 120**
  - aceleración**
    - de la gravedad, 26, 63, 67, 68
    - del cohete, 11, 63, 64, 65, 66
    - en el descenso sin paracaídas, 26
    - en el descenso con paracaídas, 27
  - acimut**
    - ángulo de, 42, 49
  - aerodinámica**
    - de las aletas, 7
    - fuerzas, 18, 23, 24
    - fuerzas normales, 17, 21, 50, 52
  - Aerotech, 10**
  - aire**
    - densidad del, 23, 45, 56, 60
    - flujo de, 7, 8, 56
    - resistencia del, 19
  - aletas, 7**
    - adidas al cuerpo, 48
    - formas de, 7
    - orientación de las, 19
    - veta de las, 27
  - factor de interferencia, 51**
  - fuerza normal, 49, 51**
  - algodón ignífugo, 37**
  - altímetro, 70**
  - altitud**
    - alcanzada, 60
    - cálculo de la, 40
    - máxima, 57
    - medición de la, 37
    - método en competiciones, 44
    - método gráfico, 40
    - método trigonométrico, 41
  - anemómetro, 69**
  - ángulo**
    - de acimut, 42, 49
    - complementario, 43
    - de ataque, 15, 20, 45, 52, 55
    - de elevación, 42, 46
    - de inclinación, 40, 55
    - de un triángulo, 43
    - inducido, 20, 55, 57
  - anillos de sujeción, 25**
  - AOA, 15**
  - Apogee, 10**
  - apogeo, 40**
  - Apolo, 49**
  - área**
    - de inflado, 65
    - de referencia, 56
    - de un polígono de n lados, 63
    - lateral, 20
    - lateral, centro del, 34
    - paracaídas hexagonal, 63
    - paracaídas octogonal, 63
  - arrastre**
    - coeficiente de, 23, 46, 56, 65
    - fuerza de, 15, 46
    - fuerzas de, 20, 48
    - onda de, 46
- B**
- Barrowman, Jim, 20, 48**
    - ecuación extendida de, 55
    - ecuaciones, 49
    - extensión ecuaciones de, 52
  - Beeper, 72**
  - Black Jack, 14**
  - Blue Thunder, 14**
  - Booster, 31**
- C**
- cabeceo**
    - movimiento de, 18, 19
  - caída libre, 22**
  - calibre, 15, 55**
  - cámara de combustión, 10**
  - carga útil**
    - construcción, 29
    - sección de, 29
  - cargamento, 28**
  - cato, 58**
  - CD, 46**
  - centro de gravedad, 48**
    - localización del, 34
  - centro de presiones, 44, 48, 49, 50, 52**
    - localización del, 34, 48
  - Cesaroni, 10**
  - CG, 15, 20, 34, 48**
  - CLA, 20, 34**
  - coeficiente de la normal, 45, 46**
  - cohete, 8**
    - análisis por partes, 48
    - desplazamiento, 20
    - sección transversal, 45
    - básico, 25
    - cohete con carga útil, 28
    - cohete de dos fases, 30
    - cohetes de varias fases, 30
    - construcción, 26, 27
    - cuerpo del, 5
    - tipos de, 5
  - cohetería experimental, 10, 14**
  - combustible sólido, 10**
  - composite, 10**
  - conexión múltiple, 38**
  - conexiones, 38**
  - cono, 5, 48**
  - constante dinámica, 56**
  - construcción, 27**
  - contacto del ignitor, 11**
  - Copperhead, 44**
  - CP, 15, 20, 34, 48**
- D**
- defecto de construcción, 58**
  - deflector, 36**
  - deformaciones, 58**
  - descenso**
    - velocidad de, 22, 61
    - velocidad límite de, 24
  - descenso con paracaídas, 22, 23**
    - ecuación del, 64
  - despegue**
    - velocidad de, 12, 54
- desplazamiento**
- del CG, 22
  - del CP, 20
- dirección del vuelo, 20**
- drag, 15**
- E**
- ecuaciones del movimiento, 22**
  - eficacia aerodinámica, 65**
  - electrónica, 70**
  - empuje, 16**
    - medio, 12
    - medio inicial, 56
  - encendido eléctrico, 37**
  - equipamiento, 36**
  - espoleta eléctrica, 37**
    - tipos de, 38
  - estabilidad, 12, 17**
    - angular, 34
    - correcciones a la, 36
    - durante el vuelo, 20, 22
    - margen de, 15, 22, 48, 54
    - neutra, 17, 21
    - prueba de, 35
    - regla de, 18
  - estabilidad angular, 55, 57**
  - estable, 17, 57**
  - estación de seguimiento, 37**
  - Estes, 10**
  - etapa final, 31**
  - etapa impulsora, 31**
  - etapas, 9**
    - apogeo, 9
    - elevación, 9
    - eyección, 9
    - lanzamiento, 9
    - recuperación, 9
  - evento, 40**
  - eyección electrónica, 70**
- F**
- FAI, 29**
  - FD, 15, 46**
  - FN, 16, 46**
  - fricción, 46**
  - fuerza, 16, 45**
    - cantidad de, 16
    - de empuje, 44
    - de rozamiento, 23, 24
    - de sustentación, 16
    - normal, 20, 44, 46, 52
  - fuerzas**
    - aerodinámicas, 19
    - reducción de, 45
- G**
- gama de modelos, 8**
  - gases**
    - expulsión, 10
    - finales, 31
    - presión de los, 10
  - Gemini, 49**
  - Geometría del paracaídas**
    - poligonal, 61
  - giro**
    - método del, 40

momento de, 16, 18, 20, 45, 47  
movimiento de, 18, 19

**girocóptero, 6, 8**  
**goniómetro, 37, 67**  
**gravedad, 16**

aceleración de la, 23  
centro de, 15

**guía**  
longitud de la, 57

## H

**hoja de cálculo, 55**  
**hoja milimetrada, 41**  
**horquilla,**  
**Hutchings Goddard, Robert, 3**  
**HPR, 3**  
**Hypertek, 10**

## I

**ignitor, 11, 38**  
**ímpetu, 16**  
**impulso, 10, 12, 16**  
total, 13  
**inercia**  
momento de, 12, 16  
**inestable, 12, 20, 55**

## K

**Kosdon, 10**

## L

**lanzadera, 7, 28**  
**lanzamiento, 36**  
con guía, 7  
con rampa, 7  
plataforma de, 12, 36  
preparación del, 37  
**lift, 16**  
**línea de base, 37, 40**

## M

**masa, 16, 23**  
**materiales explosivos, 14**  
**Mercury, 49**  
cápsula, 49  
**método del recorte, 35**  
**misil de crucero, 57**  
**modelismo espacial, 3**  
**modelista, 60**  
**modelo espacial, 5**  
**momento, 18**  
de inercia, 57  
**momentos**  
teoría de los, 18  
**motor, 10**  
candy, 10  
carcasa, 11  
cebar el, 37, 39  
codificación, 12  
convencional, 10  
curva de potencia, 13, 56  
empuje del, 19  
funcionamiento, 12  
funcionamiento del, 10  
híbrido, 10  
instalación del, 39  
progresivo, 12  
regresivo, 12

tipos de, 10  
motores  
clasificación de los, 13

**movimiento**  
cantidad de, 16  
de un cohete en vuelo, 19  
de los cohetes, 18  
de rotación, 18, 19  
de traslación, 18  
ecuación del, 59  
lineal, 16

## N

**NASA, 49**  
**Newton, 16**  
3ª Ley de, 10  
**normativa de competición, 29**  
**normas de seguridad, 40**  
**Ns, 16**

## O

**oscilación negativa, 21**  
**oscilación positiva, 17, 21, 22, 54**  
**oxidante, 10**

## P

**pabellón de un paracaídas, 65**  
**palanca**  
brazo de, 15, 18, 54  
**paracaídas, 6, 22, 60**  
área, 23  
área mínima, 24, 60  
calcular área mínima, 61  
coeficiente de arrastre, 60  
cómo doblar un, 39  
dimensiones, 60  
diseño, 65  
forma del, 23  
geometría de los, 60  
geometría del, 61  
plano circular, 61  
semi-hemisféricos planos, 60  
superficie, 61  
tamaño, 61  
semi-elipsoidal, 65  
**partes de un modelo, 5**  
**Pávlovich Koroliov, Sergéi, 3**  
**permanencia en vuelo**  
tiempo de, 22  
**peso, 16, 44, 56**  
**Pitágoras**  
teorema de, 62  
**planeadores, 7**  
**polígono**  
octogonal, 61  
regular, 61  
**porta-ángulos, 68**  
**posición**  
desplazada, 17  
neutral inicial, 17  
**potencia**  
identificación de la, 12  
**presión**  
del aire, 44  
fuerzas de, 45  
**prueba de estabilidad, 40**  
**punto de referencia, 48**

## Q

**Quest, 10**

## R

**Ratt, 10**  
**recuperación, 6**  
sistema de, 28, 71  
**Red Line, 14**  
**reglamento, 36**  
**retardo, 12, 31**  
**Richard Nakka, 10**  
**RMS, 10**

## S

**segmento de un paracaídas, 65**  
**seguimiento**  
triángulo de, 41  
**serpenteo, 57**  
**sistema**  
contra-incendios, 6  
de planeo, 6  
de recuperación, 6  
del serpienteo, 6  
estable, 22  
**sobreestable, 34, 56, 57**  
**soporte cónico**  
centro de presiones, 50  
delantero, 48  
fuerza normal, 50  
trasero, 46, 48  
**soporte del motor, 6, 25**  
**sotavento, 57**  
**subsónico, 46**  
**supersónico, 46**

## T

**tabla trigonométrica, 43**  
**talco, 37**  
**thrust, 16**  
**tiempo de quemado, 11**  
**tipos de cohete, 7**  
**tobera, 11, 37**  
**tope, 36**  
**transportador, 28**  
**trayectoria, 20**  
decadente, 21  
**triángulo recto, 41**  
**trigonometría**  
modalidad 1, 42  
modalidad 2, 42  
modalidad 3, 44  
primera relación, 41  
segunda relación, 42  
**túnel de viento, 34, 55**

## V

**veleta**  
efecto de, 57  
**velocidad, 45**  
de descenso, 60  
de despegue, 55  
del aire, 55  
del aire lateral, 57  
del viento lateral, 55  
en el instante, 59  
fase de impulso, 59  
horizontal, 20  
inicial, 55, 56  
mínima, 55

requerida, 55, 57  
vertical, 20

**vídeo cámara, 71**  
**viento**

lateral, 20  
relativo, 20, 55  
velocidad del, 54  
y estabilidad, 20

**vuelo**

dirección de, 15  
eatable, 57

## W

**Wernher Von Braun, M. 3**

**White lighting, 14**