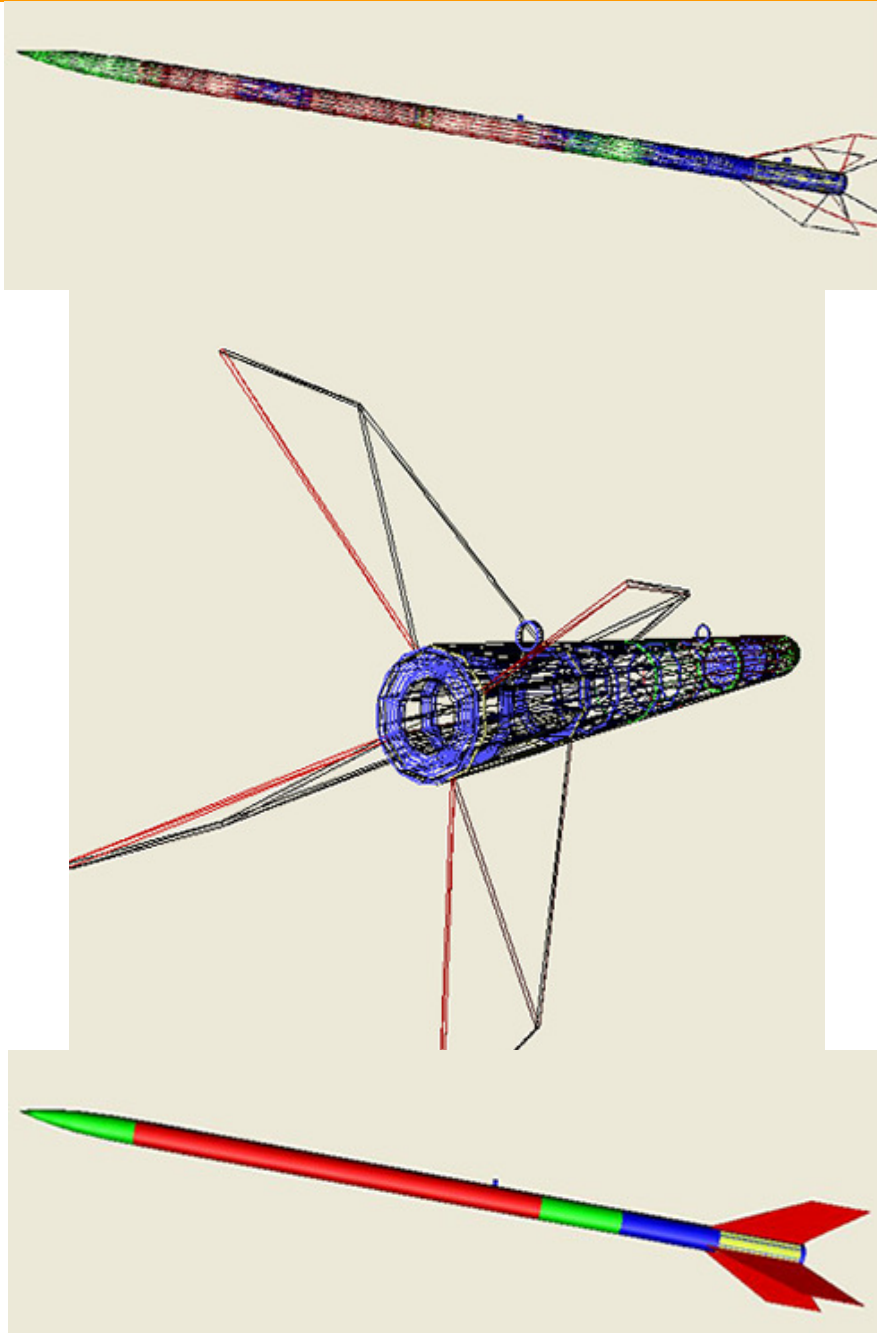


## **DISEÑE Y PONGA EN EL AIRE SU PROPIO COHETE.**



Trabajo realizado por alumnos de 4º ESO:

- 1. Rodrigo Sampedro Casis**
- 2. Manuel Cuartas Mesequer**
- 3. Iñigo Fernández de Luco Santa Maria**
- 4. Pablo Pujades Porres**

Profesor: Alberto Prado Prado

Instituto de Enseñanza Secundaria IES LA Laboral (Lardero, La Rioja)

## Presentación del trabajo:

En este trabajo nos planteamos la construcción de un cohete-sonda capaz de alcanzar los 500 m, pero realizando la misma teórica dada en este trabajo es aplicable hasta un alcance de 10.000 metros.

Nuestro cohete está diseñado para ser lanzado desde una plataforma de lanzamiento; subiendo hasta los 500 m realizando alguna función como medida de gases, condiciones atmosféricas, fotografías etc... una de las opciones es que tras el "apogeo" de nuestro cohete se desplegaría un paracaídas, evitando así riesgos de accidentes por impacto, con la reutilización inmediata del propio cohete.

Otra utilización serían ya los muy conocidos cohetes antigranizo o cohetes lluvia, los cuales se encargan de elevar una determinada cantidad de productos químicos, introduciéndolos en las tormentas, fomentando la lluvia, o evitando el granizo, con la diferencia de que estos cohetes, tras llegar a su apogeo explotan liberando dichos productos. Por último estaría la opción de cohete balística, pero este no estaría muy relacionado con la altura, sino con el desplazamiento del cohete respecto a la base.

### Para este trabajo calcularemos:

- **Aceleraciones y velocidades.**
- **Aerodinámica**, Centro de presiones
- **Centro de gravedad.**
- Determinación de **Impulso total e impulso específico.**
- Diseño y realización de experimentos para determinación de medidas como el Coeficiente de Rozamiento de dicho cohete.
- Teórica de comprobación, esto abarca desde las ecuaciones trigonométricas para determinar la altura alcanzada, como el lugar de la colisión en caso de cohetes balísticas etc...

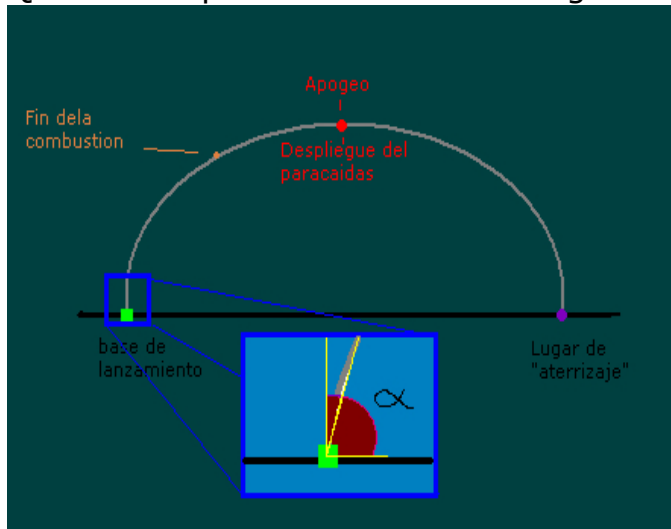
Todas las ecuaciones e imágenes utilizadas, han sido sustraídas de:

- Libros de Física, química y termo aerodinámica
- Foros de Internet.
- Paginas oficiales como la de Richard Nakka.
- Formulas deducidas a partir de otras dadas por el profesor.
- Paginas oficiales como [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

El objetivo de este trabajo en sí es la creación de un cohete de un alcance de 500m, para ello nos dividimos en variadas ramas, teórico (es esta), experimental (probar distintos componentes como el propulsor o el paracaídas) y montaje (creación completa o parte del cohete.)

## ACELERACIONES Y VELOCIDADES NECESARIAS.

Queremos que nuestro cohete llegue a los 500 metros, y para ello



utilizaremos un propulsor imaginario donde la combustión se realice durante 20 segundos, lo que tenemos que determinar es la aceleración necesaria, el peso del cohete, su resistencia aerodinámica etc...

Luego convertiremos ese propulsor imaginario en un propulsor que podamos comprar o construir :

- $e = V_0 * t + 1/2 * a * t^2$  ;  $V_f^2 - V_0^2 = 2 * a * e$  ;  $V_f = v_0 + a * t$

Para ello vamos a realizar una serie de ecuaciones relacionadas entre sí, para ello nos vamos a fijar en 2 etapas:

**1º** Despegue del cohete hasta el fin de la combustión.  $h_1, V_1$  y  $t_1 = 20$

**2º** Trayectoria hasta el apogeo del cohete, donde se realizarán las funciones de dicho cohete.  $h_2$  y  $t_2$

La caída queda en un tercer plano, ya que según el uso que pueda acarrear nuestro cohete puede explotar en el apogeo, caer con un paracaídas realizando mediciones científicas, o sencillamente usarlo como proyectil balístico donde impactaría contra el suelo explotando en él.

Para facilitarnos las cosas, en principio pensaremos en una trayectoria recta y sin resistencia aerodinámica, (R.aerodinamica).

La aceleración final,  $a$  será el resultado de diversas medidas, ángulos de lanzamiento etc...

$$\text{sen} \alpha * a = a_r ; a = \frac{a_r}{\text{sen} \alpha}$$

$$a_r = a_1 + 9.81 + \frac{\text{Resistencia; aerodinamica}}{\text{masa; cohete}}$$

1ª etapa  $h_1 = 1/2 * a_1 * 20^2$       2ª etapa  $h_2 = V_1 * t + \frac{-9.81 * t^2}{2}$   
 $V_1 = a_1 * t_1$        $-V_1^2 = 2 * -10 * h_2$

Por ultimo hallamos la relación entre ambas etapas:  $500 = h_1 + h_2$   
 Comenzaremos a solucionar el siguiente sistema despejando incógnitas:

$$h_1 = 200a \ ; \ h_2 = 500 - h_1 \ ; \ V_1 = 20a_1$$

**Sustituimos** los valores en la ecuación 2ª, de la 2ª etapa:

$$400a_1^2 = 2 * 9.81 * (500 - 200a_1)$$

**Simplificamos (dividimos):**

$$200a_1^2 = (500 - 200a_1)9.81$$

**Resolvemos:**  $200a_1^2 + 1962a_1 - 4905 = 0$  ;

$$a_1 = \frac{-1962 + \sqrt{1962^2 - 4 * 200 * -4905}}{2 * 200} \ ; \ a_1 = \frac{-1962 + 2788.1}{400} \ ; \ a_1 \cong 2.07 \text{ m/s}^2$$

$a_r = 2.07 + 9.81 = 11.88 \text{ m/s}^2$  Debe impulsar el propulsor (motor, en jerga de cohetaria sin tener encuesta la resistencia aerodinámica).

Tras "simular" lo que pesa el cohete, y hallar la resistencia aerodinámica, "pasaremos a newtons la velocidad", hallaremos la fuerza total y verdadera del propulsor; (sumaremos la fuerza opuesta la gravedad mas resistencia aerodinámica)

Por ultimo hallaremos  $a_r$ .

Ahora vamos a comprobar si nuestro resultado esta bien:

Hallamos  $V_1 = 20 * 2.07 = 41.4 \text{ m/seg}$

Hallamos  $h_1$  sustituyendo ya que antes la hemos despejado; y  $h_2$  teniendo en cuenta la relación  $h_2 = 500 - h_1$

Con lo que hallamos que:

$$h_1 = 414$$

$$h_2 = 86$$

Volvemos a la 1ª ecuación de la 2ª etapa y sustituimos.

$$86 = 41.4 * t_2 + \frac{-9.81 * t_2^2}{2} \ ; \ 86 = 41.4t_2 - 4.905t_2^2 \ ; \ 4.905t_2^2 - 41.4t_2 + 86 = 0$$

$$t_2 = \frac{41.4 + \sqrt{41.4^2 - 4 * 4.905 * 86}}{2 * 4.905} \ ; \ t_2 = \frac{41.4 + 5.16}{9.81} = 4.75 \text{ Segundos}$$

Tras volver a la misma ecuación y sustituimos  $t_2$ , y comprobaremos, que tenemos un margen de error de apenas 1cm.

Ahora tenemos que determinar los anteriores valores como peso del cohete, y resistencia aerodinámica; como nuestro cohete es reutilizable, y dependiendo del ángulo de lanzamiento varia la aceleración que tiene que desarrollar, hemos establecido que el diámetro del cohete sea 5,4 cm. ya que para cada aceleración le

tenemos que asignar un diámetro, de tal forma que si el "motor" (propulsor del cohete en jerga de cohetería) es de diámetro menor que el cohete se ajustará con unos respectivos anillos o tuercas que lo sujeten al fuselaje del cohete. De todas maneras si quisiéramos ajustarlo por ejemplo para que llegara a los 1800 metros simplemente tendríamos que hacer una "ampliación" de la parte donde se ajusta el motor, y cambiar en las ecuaciones del  $C_p$  y la resistencia aerodinámica que ahora mismo explicaremos.

En el caso de que nuestra idea sería un proyectil balístico, habría que pensar que la longitud que se alejara de la base es el  $\cos\alpha * a$  por lo que el siguiente cohete que hemos diseñado (diámetro del cohete) no está dirigido hacia esta opción.

Para poder "simular" como sería el motor del cohete, tenemos que "simular" antes el peso y resistencia aerodinámica. Por lo que pasamos a simular el cohete sin motor.

(Para tener un margen de error le daremos demás de potencia a nuestro motor, de tal forma que llegue a los 500 m o los supere)

Como estamos haciendo una especie de manual de diseño de un cohete genérico daremos las diferentes aplicaciones con sus formulas o ideas (Pero no las desarrollaremos todas) pero desarrollaremos el ejemplo de nuestro cohete que llegara a los 500 m.

**Nota: Para que un cohete sea estable, es decir que siga una trayectoria en línea, su  $C_p$  tiene que estar debajo de su  $c_g$  (Centro de Gravedad), ya que si no describiría una trayectoria errática e impredecible.**

## Centro de Presiones:

### Forma pensada y razonada por los alumnos:

(Tras indicaciones y formulas dadas por el profesor)

**Nota: Se supone que las aceleraciones a las que es sometida la aerodinámica del cohete son a velocidades menores a la del sonido.**

### La Fuerza normal de Arrastre:

Se denomina Fuerza Normal de Arrastre  $F_{NA}$  a la suma de todas las fuerzas normales de presión que el aire ejerce sobre el cohete, las cuales se concentran en un punto sobre la superficie que se denomina "Centro de presiones".

La *Fuerza Norma de Arrastre* que actúa sobre un cohete, depende de la forma que tenga el modelo, la densidad del aire, la velocidad del modelo, el área de la sección de la base de referencia del cohete y del ángulo de ataque tonel que el cohete ha sido lanzado.

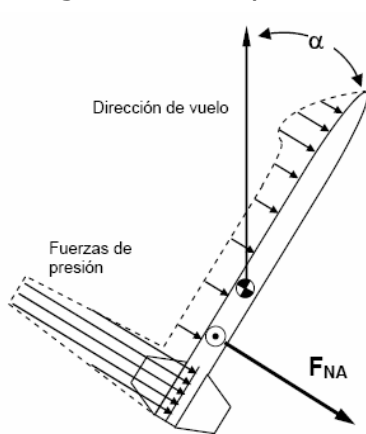


FIGURA 47

$$F_{NA} = C_{N\alpha} \frac{\rho * V^2 * a * A_r}{2}$$

(Formula dada por el profesor)

$C_{N\alpha}$  = Coeficiente de rozamiento dependiendo de la forma del cohete.

$\rho$  = densidad del aire

$A_r$  = Área seccional de referencia

$V$  = velocidad del cohete

$\alpha$  = Ángulo de lanzamiento.

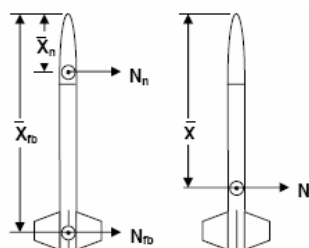
Se observa que cuando el ángulo de ataque (ángulo de lanzamiento del cohete) tiene valores cercanos a cero, la fuera de arrastre es casi mínima. Y también establecemos que a mayor cohete mayor fuerza de arrastre. La fuerza normal de arrastre *actúa siempre* sobre el Centro de presiones, y la magnitud que tenga en cada momento originará que el cohete gire siempre sobre su centro de gravedad creando un momento de giro. Si el cohete es estable, el giro tendrá que ser en dirección hacia el ángulo de ataque igual a cero. Por lo que si el ángulo de ataque se reduce hacia a cero, la fuerza normal de arrastre también se reducirá.

**Nota del Profesor:** El  $C_{N\alpha}$  puede utilizarse para la fuerza total normal, ya que utilizando el principio de reducción de fuerzas demuestra que es matemáticamente aceptable utilizar el coeficiente dimensional asociado  $C_{N\alpha}$  para reemplazar la fuerza total normal en las ecuaciones del momento de giro.

Ahora vamos a aplicar el teorema de los momentos aplicándolo a un cohete en vuelo.

$$M = F * L$$

Donde M es el momento de fuerza alrededor de un punto de giro, F es la fuerza aplicada sobre el extremo de un brazo de la palanca y L es la longitud del brazo de la palanca.



M es el momento total o la suma de os momentos.

$$M = N * \bar{X}$$

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

$$M_n = N_n * \bar{X}_n ; M_{fb} = N_{fb} * \bar{X}_{fb}$$

$$M = M_n + M_{fb} \quad \textbf{Sustituimos:}$$

$$(N_n + N_{fb})\bar{X} = N_n * \bar{X}_n + N_{fb} * \bar{X}_{fb}$$

**Despejamos:**

$$\bar{X} = \frac{N_n * \bar{X}_n + N_{fb} * \bar{X}_{fb}}{(N_n + N_{fb})}$$

**Nota profesor:** Las siguientes formulas sobre  $N_n$  y  $N_{fb}$  han sido dadas por el profesor, ya que los alumnos de 4º de Eso no pueden llegar a dichas ecuaciones con sus conocimientos.

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

- $N_n = (C_{N\alpha})_n * 1/2 * \rho * V^2 * \alpha * A_r$
- $N_{fb} = (C_{N\alpha})_{fb} * 1/2 * \rho * V^2 * \alpha * A_r$

**Sustituimos:**

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

**Simplificamos:**

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

$\bar{X}$  = Distancia de la punta del cohete al Cp

La pega de este método es que es muy largo y difícil de computar, es decir, meter las ecuaciones y pasos dados en una base de datos o hoja de calculo como Excel y que esta te de los resultados tras haber cambiando los datos primarios del problema.

Entonces buscando por Internet, hemos encontrado un método utilizado en la carrera espacial y hoy en día para los cohetes; es un método mas "corto" y fácil de meter en una hoja de calculo de Excel, en si este método es una "evolución" de este método, pero amplifica el radio de formas a las que se puede determinar el Cp.

## Determinación del Cp mediante las ecuaciones de Barrowman.

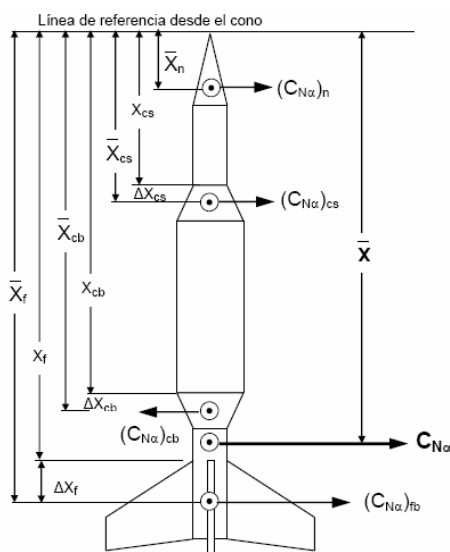
**Nota:** Esta información es complementaria a la anterior, pero ha sido sustraída de Internet, revisada por el profesor, y aplicada por los alumnos, y "metida" en una hoja de cálculo.

Como ya hemos demostrado a velocidades inferiores a la del sonido, el  $C_{N\alpha}$  depende solamente de la forma del cohete y el calculo del  $C_p$  es un defecto directo del  $C_{N\alpha}$ , así pues, el calculo de  $C_{N\alpha}$  es esencial.

Por conveniencia o simplicidad el  $C_{N\alpha}$  estará referido en adelante a la Fuerza Normal de Arrastre sobre el cohete.

Analicemos:

- En un cohete lo dividimos en las siguientes partes (Cono, cilindro, soporte de conos, aletas etc...), con sus correspondientes  $C_p$  y  $C_{N\alpha}$  a cada una de esas partes.



n = cono

cb = soporte cónico trasero

Cs = soporte cónico delantero

f = aletas

fb = aletas adosadas al cuerpo.

Aplicando de una forma similar a la relación anterior entre  $N$  y  $\bar{X}$ , ahora la relación es de  $C_{N\alpha}$  y  $\bar{X}$ .

De tal forma que como también hemos deducido antes el  $C_p$  del cohete depende del coeficiente de rozamiento de las distintas partes del cohete por la distancia de estos a la punta del cohete, ahora

relacionaremos las dos ideas, y la complementaremos con las formulas para hallar los distintos  $C_p$  de las diferentes partes del cohete, ya que es allí donde podemos "ver" la fuerza total del coeficiente de rozamiento de dicha parte.

### Conos:

El  $C_{N\alpha}$  de cualquier forma generada a partir del cono es igual a 2, es decir:

$$(C_{N\alpha})_n = 2$$

Y el  $C_p$  de un cono o de sus derivaciones varía de su forma:

Si es de forma cónica el  $C_p$  se encuentra a  $\bar{X}_n = \frac{2}{3} * L$

Si es una ojiva:  $\bar{X}_n = 0.466 * L$

Si es una parábola:  $\bar{X}_n = \frac{1}{2} * L$

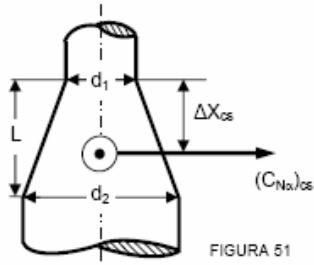
Donde "L" es la longitud desde la base del cono a su punta o parte mas alta en el caso de la Ojiva.

### El soporte Cónico

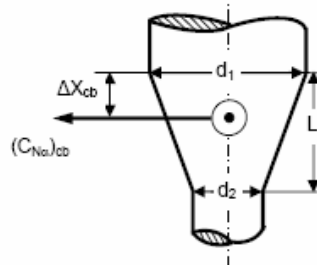


La fuerza normal de un soporte cónico se calcula igual si es delantero  $(C_{N\alpha})_{cs}$  como trasero  $(C_{N\alpha})_{cb}$  la diferencia es que en unos casos dará positiva y en otros negativa.

$$(C_{N\alpha})_{cs/cb} = 2 * \left[ \left[ \frac{d_2}{d} \right]^2 - \left[ \frac{d_1}{d} \right]^2 \right] \text{ d es el diámetro de la base.}$$



Soporte cónico delantero



Soporte cónico trasero

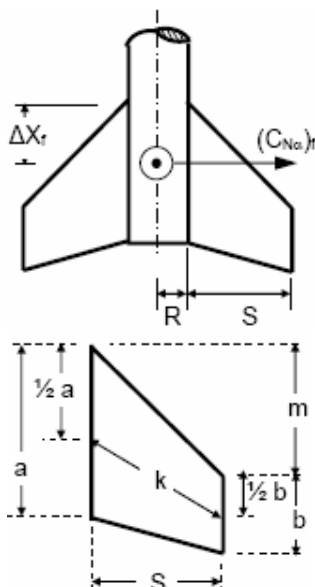
Y para determinar el Cp en ambos caso la ecuación es la misma.

$$\bar{X}_{ca/cb} = X_{ca/cb} + \Delta X_{ca/cb} ; \bar{X}_n = X_{cz/cb} + \frac{L}{3} * \left[ 1 + \frac{1 - \frac{d_1}{d_2}}{1 - \left[ \frac{d_1}{d_2} \right]^2} \right]$$

$X_{ca/cb}$  es la distancia desde el extremo del cono hasta la parte delantera del soporte.

### Aletas

Todas las aletas, sean más o menos complicadas se pueden simplificar en tres o cuatro rectas, las cuales forman una aleta más simple, y a la cual nosotros podemos determinar su Cp y  $C_{N\alpha}$ :



(Los siguientes cálculos están dirigidos a cohetes con 3, 4,5 aletas.)

Factor que interviene 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 este factor, lo llamaremos  $K_{fb}$ , y lo tendremos en cuenta para calcular en  $(C_{N\alpha})_{fb}$ .

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

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

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

"n" es el número de aletas y d el diámetro del cuerpo donde están ubicadas.

El Lugar del Cp de una aleta es el mismo en las demás aletas, ya que el Cp no depende del número de aletas.

$$\bar{X}_f = X_f + \Delta X_f$$

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

$X_f$  es la distancia desde la punta del cohete hasta la parte superior de las aletas.

### Solución:

Para terminar, combinamos todos los resultados para hallar el valor de la fuerza de arrastre de todo el modelo y la localización del Cp donde se concentra toda esta fuerza.

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

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

Y según el método que los alumnos habían razonado (página 7)

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

Por lo que tras meter este método, en una hoja de cálculo de Excel hemos creado una plantilla, donde tras cambiar los valores de las diferentes partes del cohete, nos dice a qué distancia de la punta se encuentra el Cp.

Par calcular con bastante eficiencia la Resistencia aerodinámica, Manuel e Iñigo se encargaron de diseñar un experimento de tubo de viento con el cual medir la resistencia aerodinámica, ya que esta varía de la textura o materia del que este hecho el cohete.

## Peso del cohete y Centro de gravedad:

Antes de determinar el peso y CG del cohete tenemos que definir completamente nuestro cohete.

Definiciones de nuestro cohete son el espesor del fuselaje y peso del, peso de las respectivas partes como sistema de iniciado del paracaídas, porta paracaídas etc....

Medidas, tenemos de determinar las medidas para las diferentes partes del cohete.

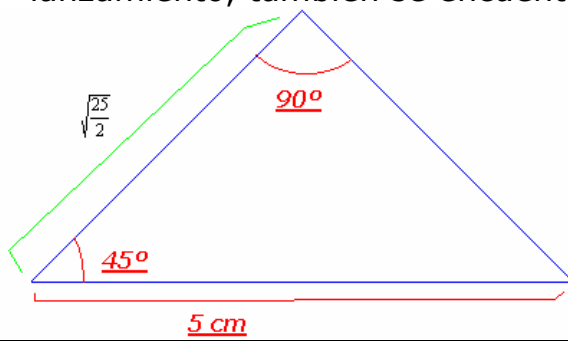
El material del fuselaje y cilindros es cobre ya que es un material que tenemos fácil de conseguir (ya que aprovechamos que hay multitud de diámetros y espesores para fontanería, es un material fácil de moldear y conduce bien la electricidad, como negativo observamos que es bastante caro y pesa bastante)

**Nota:** *Lo mejor para desarrollar estas medidas, es crear otra hoja de cálculo de tal forma que dándole los diámetros interno y externo de un cilindro, te calcule el volumen de material, y te lo multiplique por la densidad de dicho material que le hemos introducido; esto combinado con las respectivas ecuaciones del CG, y "probando" vamos seleccionando las medidas que mas nos gustan y que mayor margen nos dejan para un futuro. O como nosotros comprobamos tarde, con un programa como el Rock Sim 7.0 o parecidos, programas de diseño tridimensional complementado con funciones que les puedes dar a través de hojas de calculo , podemos simular a la vez, el Cp, el CG, vistas tridimensionales del cohete, planos del mismo, incluso simulaciones de vuelo.*

#### **Pasamos a ello:**

- **Nariz (la punta del cohete, la ojiva):** diámetro 5,4cm, largura de base a punta, 15cm, un centímetro de base integrada en el cilindro del cohete.
- **"bloque temporizador" o en caso de cohete químico, zona de carga de productos químicos o explosivos:** diámetro externo 5,4cm, diámetro interno 5,2cm, 25cm de largo. 1cm de la base del cono-ojiva, 5cm la batería, 8cm de temporizador, 8 cm. de instrumentos científicos, y 1cm de amarre, mas 2cm de encajamiento. La bateria pesará 150 g y los instrumentos científicos 250 g. Cada apartado esta dividido por un papel separador que los recubre, el peso de este papel, fue tomado por los alumnos he introducido en la tabla.
- **Compartimiento paracaídas o sistema detonante/guia en caso de cohete balístico:** diámetro externo; 5,4cm, diámetro interno, 5,2cm, longitud 36cm.
- **Transmisión:** para darle tal capacidad de instrumentos científicos, hemos tenido que dejar un mayor diámetro para el porta motor. Por lo que el Grupo cola tiene 5,5 cm de diámetro, respecto a los 5,4 del resto del cohete. La transmisión se produce en 5 cm.
- **Grupo cola:** diámetro externo 5,5 cm, diámetro interno 5,2 cm longitud 25cm. En él se encuentra el porta-motor, los anillos ke

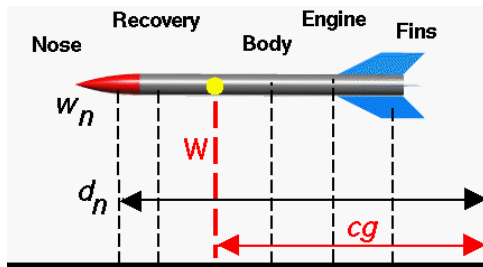
lo centran, uno de los anillos de sujeción a la rampa de lanzamiento, también se encuentran aletas, éstas tienen:



y están hechas con aluminio, de un espesor de 0.201mm.

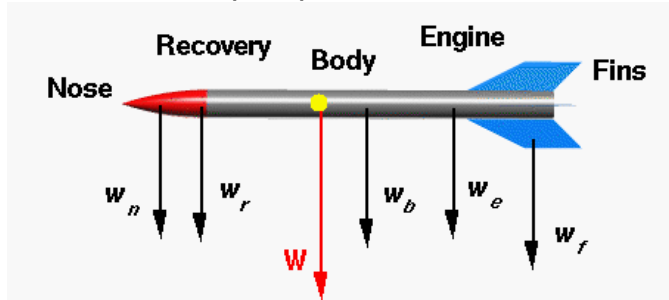
Simulación peso estimado del cohete sin motor: **2668.059 gramos**

### Determinación del centro de gravedad.



Para determinar el centro de gravedad (cg) vamos a utilizar una táctica similar a la anterior. Utilizando el teorema de momentos y sabiendo que nuestro cohete es estable, pasamos a simplificar el problema; el cohete es el

conjunto de diferentes etapas de las cuales podemos hallar su cg y su peso. Por lo cual la distancia del cg a la línea de referencia por el peso del cohete tiene que ser igual a la suma de los cg de las diferentes etapas por la distancia a la línea de referencia:



“w” es la masa vista desde su centro de gravedad.

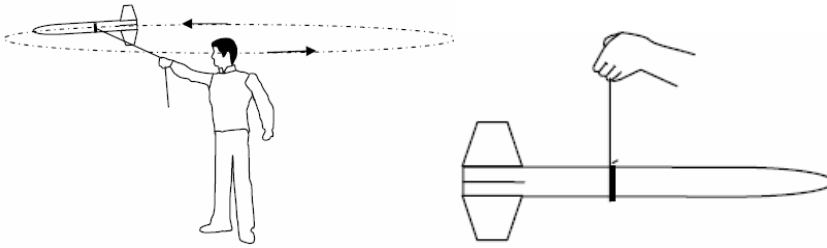
“d” es la distancia de la línea de referencia.

$$W = W_n + W_r + W_b + W_e + W_f$$

$$cg * W = W_n * d_n + W_r * d_r + W_b * d_b + W_e * d_e + W_f * d_f$$

Para acelerar este proceso, como ya hemos dicho antes, lo mejor es informatizar esta ecuación mediante una hoja de cálculo y combinarla con la anterior (centro de presiones).

Para finalizar con la determinación del centro de presiones y centro de gravedad les damos 2 métodos simples para comprobar que su cohete es estable y la localización del centro de gravedad es correcta.



- Para determinar el centro de gravedad tras haber construido nuestro cohete simplemente enrollaremos una pequeña cuerda alrededor de él, de la cual “colgaremos” nuestro cohete. Iremos moviendo la cuerda hasta que nuestro cohete “quede equilibrado” es decir estando paralelo al suelo. Este punto dónde tenemos colocada la cuerda es el centro de gravedad.
- Para determinar si nuestro cohete es estable significa que el centro de presiones está por detrás del cg por lo que si a esta cuerda que tenemos atada al centro de gravedad le atamos otra cuerda o cordel con la que podamos hacer girar nuestro cohete alrededor de nosotros, y éste se mantiene en una posición estable y apunta hacia dónde le estamos haciendo girar esto significa que el cohete es estable.

## Impulso Total y Específico

(Lanzando el cohete con un ángulo cercano a cero)

El impulso total del cohete es la fuerza ascendente del cohete por el tiempo que esta se produce, es decir la masa del cohete por la aceleración y por el tiempo de combustión. Para determinar la aceleración, antes tenemos que hallar la resistencia aerodinámica, que es La Fuerza de Arrastre, pero para ello debemos saber cálculo infinitesimal, por lo que para nosotros es imposible, así que la vamos a ignorar. De todas maneras el profesor expondrá su resultando por lo que veremos que nuestra estimación esta aun lejos de la realidad.

$$I_T = f * t = m * a * t \quad \text{no confundiendo } a_r \quad \text{con } a$$

$a_1$  es : 2.07 m/seg = 2.07 N/Kg;  $a_r = 11.88$  N/Kg a 2.668Kg son 31.696 N de fuerza ascendente

$$I_T = f * t = m * a * t = 633.92$$

Impulso específico (es el impulso total partido por el peso)

$$I_e = \frac{I_T}{P}; \quad I_e = 633.92 / 2.668 = 237.6 \quad \text{N-s/Kg, como le dejamos al motor}$$

unos “márgenes” de tal forma de que por defecto tienda a sobre pasar un poco los 500m.

237.6 los trasformamos en 240 N-s/Kg

**Estimación del profesor:**

$a_r$  17.92 m/seg ; N/Kg (media de las aceleraciones durante la ascensión)

Por lo que

$I_T = 956.112$  (956.2)

$I_e = 956.2/2.668 = 358.4$  N-s/Kg es la potencia necesaria para que nuestro cohete "suba" hasta los 500m (y que por defecto los sobre pase un poco.)

Ya solo nos queda la compra o creación del motor (propulsor); si no tienes conocimientos de termodinámica, esfuerzos etc... (Como es nuestro caso, hay que buscar un motor comercial (publico, homologado), que sea capaz de crear un impulso específico, donde sea mayor que el necesario para el cohete, de tal forma que esa "potencia" de mas sea la energía necesaria para acelerar a la misma velocidad que el cohete el peso del propio motor, es decir que genere un impulso específico que sea capaz de elevar su peso (decreciente mientras combustiona) mas el del cohete. (Para ello es necesario el cálculo infinitesimal, por lo que nos lo ha hecho el profesor.

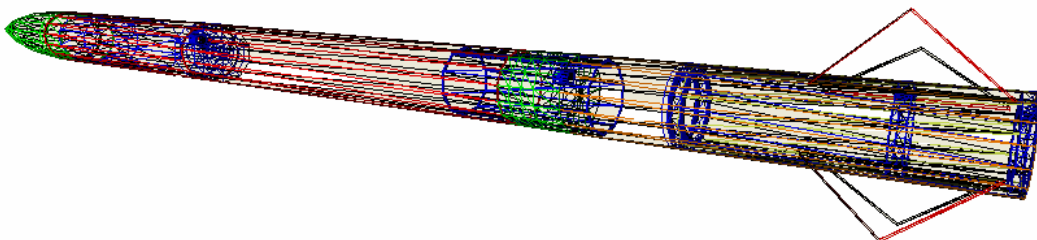
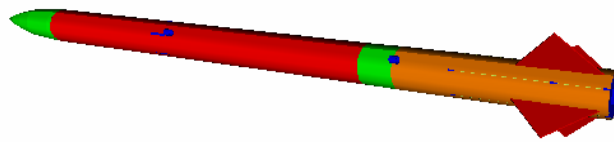
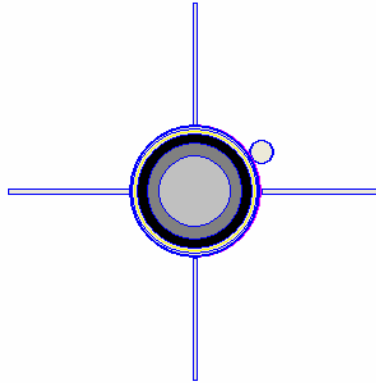
<b>NOMBRES</b>	<b>DATOS</b>
<b>PESO DEL COHETE SIN MOTOR</b>	2668.059 g
<b>CENTRO DE PRESIONES</b>	61.100 cm (de la punta)
<b>CENTRO DE GRAVEDAD</b>	41.890 cm (de la punta y sin motor)
<b>IMPULSO ESPECIFICO</b>	358.4 N-s/Kg (sin motor)
<b>VELOCIDAD MAXIMA DEL COHETE</b>	41.4 m/seg (motor "imaginario")
<b>ACELERACIÓN</b>	2.07m/seg <sup>2</sup> (motor "imaginario")
<b>LONGITUD DEL COHETE</b>	108.501 cm

Motores Comerciales a utilizar:

(Lanzando el cohete con un ángulo cercano a cero)

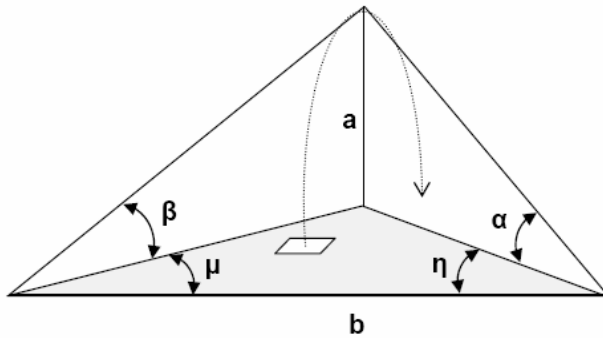
- En un día despeja, no muy húmedo, sin viento y con no más de 15° C; utilizaremos un **KOS-TRM código I145S**, este motor nos sube hasta los 504-506 metros de altura.
- En un día normal, ni muy buen tiempo ni muy mal tiempo Ellis **Mountain código I150EM**, sobrepasa un poco los 510m
- En un día de malas condiciones meteorológicas utilizaríamos el AEROT I154J.

## **Nuestro Cohete:**



## Determinación de la altura por método trigonométrico

Los cálculos trigonométricos han sido deducidos por los alumnos, pero por la gran extensión de estas explicaciones hemos resumido todo en estas tres ecuaciones:



$$a_1 = \frac{b * \operatorname{tg} \alpha * \operatorname{sen} \mu}{\operatorname{sen}[180 - (\mu + \eta)]}$$

$$a_2 = \frac{b * \operatorname{tg} \beta * \operatorname{sen} \eta}{\operatorname{sen}[180 - (\mu + \eta)]}$$

$$a \cong \frac{a_1 + a_2}{2}$$

"a" es la altura máxima de la trayectoria.

"B" es la línea de la base (distancia que hay desde la base a1 a la base a2.

"β" es el ángulo de elevación del cohete visto desde la estación a1.

"α" es el ángulo de elevación del cohete visto desde la estación a2.

"μ" es el ángulo de acimut de la estación a1.

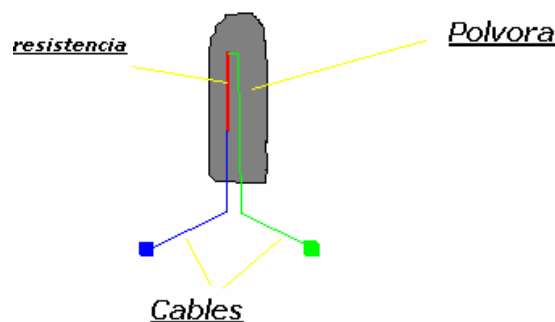
"η" es el ángulo de acimut de la estación a2.

## Centralita de lanzamiento

Es básicamente una batería de 24 v y una alta cantidad de amperios conectada a un pulsador el cual cierra dos circuitos, el ignitor de la combustión y el sistema eléctrico de eyección.

## Sistema de ignición

Es básicamente un "petardo" encendido eléctricamente. Para encenderlo utilizamos una resistencia que está enrollada al ignitor. El ignitor se dobla y se introduce a través de la tobera hasta llegar al combustible. Los dos extremos de la resistencia se conectan a nuestro circuito de la centralita de lanzamiento.





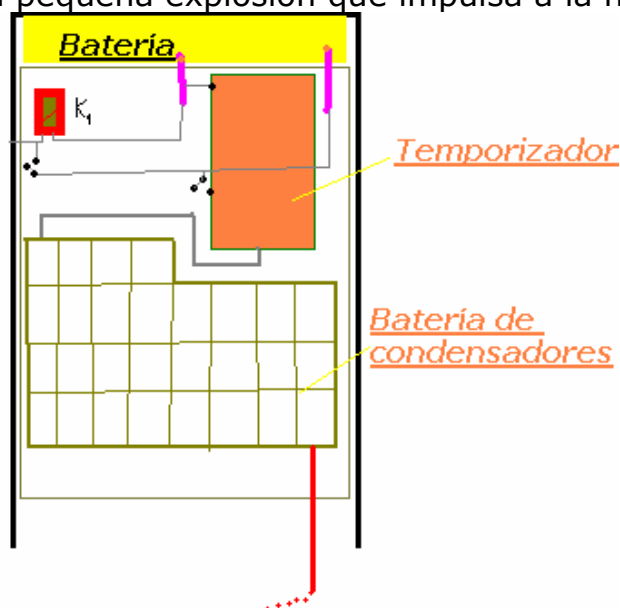
## Sistema eléctrico de eyección

Es un sistema basado en un relé, un temporizador, y una batería de condensadores (24 v).

El relé está conectado al fuselaje de tal forma que cuando activamos eléctricamente el sistema de ignición (combustible) también envía una señal a través del fuselaje al relé activándose éste.

Al activarse el relé se cierran dos circuitos, uno autoalimenta al relé y otro activa y alimenta al temporizador.

Cuando el temporizador finaliza la cuenta atrás envía una señal eléctrica a la batería de condensadores haciendo que éstos descarguen su carga sobre el sistema de eyección (pólvora), haciendo literalmente una pequeña explosión que impulsa a la nariz del cohete.



## Plataforma de lanzamiento:

Suele ser un trípode sobre el cual se coloca una varilla y una malla de alambre como base, de tal forma que podamos colocar nuestro cohete a través de la alambre y que esta le sirva de guía durante los primeros momentos, y que a través de la base podamos introducir el sistema de ignición.

**Paracaídas;** los cálculos matemáticos necesarios para el paracaídas son de bachiller por lo que solo hemos buscado una plantilla Excel con la que diseñarlo:

Diámetro 1.524 m, diámetro del "agujero" 22 cm,

Cd: 0.13

Velocidad de descenso: 13.8 m/seg

El paracaídas tendrá debajo un aislante de tal forma que el sistema de eyección no produzca en el ningún daño como la quema de hilos etc...

El paracaídas estará amarrado al cohete por una cuerda de 2.5m de la nariz al paracaídas, y 5m del paracaídas al fuselaje del resto del cohete.

**Instrumentos científicos;** en los 250 gramos de instrumentos científicos se pueden llevar a cavo numerosas mediciones, pero en nuestro caso, introduciremos una mini webcam con una pequeña tarjeta de memoria, mas un altímetro electrónico, o un posicionador GPS que nos indique la altura alcanzada.

La webcam esta ladeada hacia una pequeña "ventanilla" un mini agujero tapado con un cristal de tal forma que durante el ascenso grave "las vistas" y cuando se libere el paracaídas, quede mirando hacia tierra dándonos una vista completa de la zona de lanzamiento.

## **Explicaciones de los procesos de nuestro cohete.**

Tras haber construido nuestro cohete, la plataforma de lanzamiento, el sistema de ignición y la centralita de lanzamiento (un pulsador doble) las montaremos en una llanura o planicie que no tenga ningún tipo de actividad humana, es decir, sin casas como mínimo en un radio de 2 km.; sin casetas agrícolas ni superficies cultivadas; una llanura "virgen".

Situaremos nuestra plataforma de lanzamiento en un lugar limpio de hierba y posiblemente sin desniveles.

Montaremos en ella el cohete e introduciremos los sistemas de ignición.

Nos alejaremos la suficiente distancia como para que no haya ningún accidente (100-200 m).

1. Cuenta atrás y pulsación del interruptor.
2. Activación por parte del sistema de ignición de la combustión y activación del sistema eyector del paracaídas a través del fuselaje (activa un temporizador).
3. La combustión eleva al cohete mientras el temporizador sigue con su cuenta atrás.
4. Acaba la combustión y el cohete sigue su trayectoria balística.
5. Tras llegar a su apogeo (máxima altura) el temporizador abre la batería de condensadores la cual lanza una descarga que activa el sistema de eyección del paracaídas, saliendo disparada la nariz del cohete, con los instrumentos científicos, estando todos ellos amarrados al paracaídas; de tal forma que el paracaídas que también está amarrado al cohete se abre, quedando el paracaídas abierto, con los instrumentos científicos y la parte propulsora del cohete colgando de él.

6. Descenso del paracaídas con los respectivos elementos colgantes y aterrizaje (impacto a baja velocidad).

**Nota del Profesor:** Este trabajo ha sido realizado en casi su totalidad por los alumnos, en especial por Rodrigo quien ha hecho toda la teoría, diseño, organización y dirección del trabajo.

Rodrigo fue quien ideó la idea de presentarnos al concurso, pensó en el desarrollo del proyecto del cohete y buscó la teoría necesaria para éste, a principios de diciembre ya se encontraba creando este grupo; Manuel se dedicó a hacer simulaciones y participar en el proyecto experimental; Iñigo se le encargó la búsqueda y creación de imágenes y desarrollar alguna nueva idea que no se terminó como el diseño de un cohete dividido en 2 o 3 secciones con sus respectivos propulsores en cada etapa; Pablo fue la última incorporación, por lo que participó en las simulaciones y búsqueda de información.

Los alumnos se me presentaron con casi todas las ideas fundamentales, solo tuve que explicarles algún que otro dato, y darle formulas (que ellos ya estaban buscando), participe en los cálculos infinitesimales ante el desconocimiento (por parte de su nivel) sobre ellos y comenzamos a indagar en la creación de motores, pero no se pudo avanzar por la necesidad de conocimientos en términos aerodinámicos.

Al mismo tiempo que se realizaba este trabajo, los mismos alumnos por sí mismos, apenas revisados por mí crearon otro trabajo, consistente en el desarrollo práctico del trabajo teórico, y participar así en la modalidad experimental de este concurso.