
Treball de Recerca | **2011**

Aplicació de factors
aerodinàmics per al
disseny i la creació d'un
model de coet casolà.

Col·legi Maristes Girona

ABSTRACT

The following project of technical nature arises from the interest to deepen in the aeronautic basic principles of knowledge and in particular in the design and structure-making of homemade rockets.

In it, all of the capabilities will be developed and materialized with the objective to become better acquainted with this kind of vehicles; their aerodynamic features, their propulsion methods, what is its influence on the aerodynamic profile of the rocket provision...Obtaining with this, a closer perspective of rocket aeronautics.

The major part of the research is focused in acquiring information about how to construct this kind of homemade rockets: materials, design, propulsion methods...to finally, develop several real rocket projects and testing them.

To obtain the final result a research via web and books, and some flight simulations will lead us to which of all the models is the best one according to its aerodynamic.

Many of the research done through different webs and books will be done in English as it is a rarely discussed subject in our society, even though the project is done in Catalan it will be a brief translation of all the information found in this field.

ÍNDIX

1.- EL MODELISME ESPACIAL.....	6
1.1. INTRODUCCIÓ.....	6
1.1.1. Personatges importants.....	8
1.1.2. Agències aeroespacials.....	11
1.2. EL MODEL ESPACIAL.....	14
1.3. PARTS D'UN MODEL DE COET BÀSIC.....	15
1.3.1. El con.....	16
1.3.2. El cos.....	16
1.3.3. El suport del motor.....	17
1.3.4. L'abrasadora.....	17
1.3.5. El sistema contra-incendis.....	18
1.3.6. El sistema de recuperació.....	15
1.3.7. Les aletes.....	17
1.4. TIPUS DE MODELS DE COET.....	18
1.4.1. Els planejadors.....	18
1.4.2. Les llançadores.....	18
1.4.3. Els coets.....	19
1.4.4. Els girocòpters.....	19
1.5. ETAPES DURANT EL VOL D'UN MODEL DE COET.....	21
1.6. EL MOTOR.....	22
1.6.1. El motor de carburant sòlid.....	23
1.6.2. Codificació i classificació dels motors.....	26
1.6.3. La corba d'empenta.....	27
1.6.4. Coeteria experimental.....	29
2.- AERODINÀMICA I MECÀNICA DE VOL.....	30
2.1. EL CENTRE DE PRESSIONS (CP).....	30
2.2. LOCALITZACIÓ DEL CENTRE DE PRESSIONS (CP).....	31
2.3. EL CENTRE DE GRAVETAT (CG).....	33
2.4. LOCALITZACIÓ DEL CENTRE DE GRAVETAT (CG).....	34
2.5. EL MARGE D'ESTABILITAT.....	35
2.6. EL ANGLE D'ATAC (AOA).....	36
2.7. LA FORÇA DE FRICCIÓ.....	37
2.8. LA FORÇA DE SUSTENTACIÓ O NORMAL ($F_{N\alpha}$).....	38
2.9. EL MOMENT DE GIR.....	39
2.10. EL MOMENT D'INÈRCIA.....	40
2.11. L'EMPENTA.....	41
2.12. L'IMPULS.....	42
2.13. QUÈ ES L'ESTABILITAT?.....	43
2.14. REGLA D'ESTABILITAT EN UN MODEL DE COET.....	45
2.15. PROVA D'ESTABILITAT. MÈTODE DE GIR.....	46
2.16. CORRECCIONS A LA PROVA D'ESTABILITAT.....	47
2.17. TEORIA DELS MOMENTS APLICATS ALS MODELS DE COET.....	48
2.18. MOVIMENT DELS COETS DURANT EL VOL.....	49
2.18.1. Moviment de translació.....	49
2.18.2. Moviment de gir.....	49
2.18.3. Moviment de rotació.....	50
2.19. L'ESTABILITAT DURANT EL VOL.....	51
2.19.1. Com afecta el vent en la trajectòria d'un coet.....	51
2.19.2. Estabilitat i desplaçament del Centre de Pressions (CP).....	52
2.20. TEORIA DE LA CAIGUDA LLIURE I EL DESCENS AMB PARACAIGUDES.....	55
2.20.1. Caiguda lliure abans de l'obertura del paracaigudes.....	55
2.20.2. El descens amb paracaigudes.....	56

3.- CONSTRUCCIÓ.....	59
3.1. INTRODUCCIÓ.....	59
3.2. CONSTRUCCIÓ D'UN MODEL DE COET BÀSIC.....	60
3.3. CONSTRUCCIÓ D'UN MODEL DE COET AMB CÀRREGA ÚTIL.....	67
3.4. CONSTRUCCIÓ D'UN MODEL DE COET DE DOS FASES.....	71
3.5. CONSTRUCCIÓ D'UN PARACAIGUDES POLIGONAL.....	77
3.5.1. Paracaigudes hexagonal.....	77
3.5.2. Paracaigudes Octogonal.....	77
3.5.3. Forma de posar les cordes.....	78
3.6. CONSTRUCCIÓ D'UN PARACAIGUDES SEMI-ELIPSOIDAL.....	79
3.6.1. Introducció.....	79
3.6.2. Disseny del paracaigudes semi-el·lipsoidal.....	80
3.6.3. Materials necessaris.....	80
3.7. GEOMETRIA DE PARACAIGUDES SEMI-HEMISFÈRICS PLANS.....	84
4.- EL LLANÇAMENT.....	86
4.1. PRELIMINARS.....	86
4.2. EQUIPAMENT BÀSIC.....	87
4.3. PREPARACIÓ PEL LLANÇAMENT.....	88
4.3.1. Ubicació de l'estació de seguiment.....	88
4.3.2. Preparació del model de coet.....	88
4.3.3. Forma d'introduir el motor en el seu suport.....	89
4.3.4. Preparació del Sistema contra-incendis.....	89
4.3.5. Com introduir el paracaigudes dins del model de coet.....	90
4.3.6. Preparació del Sistema d'encesa.....	90
4.3.7. Forma de preparar l'espoleta elèctrica.....	91
4.3.8. Connexions amb el Sistema d'encesa.....	92
4.4. NORMAS BÀSIQUES DE SEGURETAT.....	93
5.- FAIR NOSE CONE PROJECT.....	94
5.1. DISSENY.....	95
5.2. CONSTRUCCIÓ.....	105
5.3. TEST.....	110
5.4. SIMULACIÓ.....	114
5.5. LLANÇAMENT.....	121
5.6. CONCLUSIONS.....	125
6.- BIBLIOGRAFIA I WEBGRAFIA.....	127
6.1. BIBLIOGRAFIA.....	127
6.2. WEBGRAFIA.....	128
6.3. PÀGINES WEB D'INTERÉS.....	129

1.- EL MODELISME ESPACIAL.

1.1. INTRODUCCIÓ.

El Modelisme Espacial és un concepte considerat com un *hobby*¹, però tot i així també és una activitat relacionada amb els anomenats esports ciència.

El Modelisme Espacial consisteix en dissenyar, construir, llançar i recuperar models de coet amb diferents fins, esportius i científics. En l'aspecte esportiu, aquesta activitat compta amb diferents modalitats segons els reglaments de la NAR (*National Association of Rocketry*²) i internacionals de la FAI (Federació Aeronàutica Internacional). Dins de les normes FAI, aquesta activitat queda enquadrada en el Codi Esportiu. Tot i així, la pràctica dels coets ja sigui amateur o especialitzada, queda regulada per la legislació vigent de cada país i per les normes i les disposicions legals que estiguin establertes en cada Comunitat Autònoma.

Els coets d'un, dos i tres etapes, transportadors de carga útil, alguns s'assemblen a vehicles espacials reals però a escala mètrica. Els avions-coet volen com els de veritat, des dels més petits que poden mesurar uns centímetres, fins els més grans i potents que poden mesurar un parell de metres de longitud i la recuperació amb un o dos paracaigudes, amb planeig o sense encenen la passió per aquesta disciplina que alguns pocs la practiquen.

En la història, durant la dècada dels anys seixanta van sorgir diferents grups de joves i entusiastes que començaren a practicar aquesta disciplina gràcies a l'arribada de l'home a la lluna i una especial motivació per la carrera espacial. Va començar sent una activitat que es desenvolupava dins de reunions privades entre amics, a partir de les quals sorgiren les agrupacions i clubs que avui dia i de forma periòdica desenvolupen aquesta apassionant activitat, ja sigui en trobades lúdiques o en

¹ Activitat que es realitza en el temps lliure per plaer.

² Associació Nacional de la coeteria

esdeveniments esportius en les diverses categories, i en les que s'organitzen simultàniament exposicions i exhibicions dels models amb gran influència del públic, i que en nombroses ocasions tenen una repercussió en els mitjans informatius locals sempre amb molt bona acollida, fomentant així la pràctica d'aquesta activitat.

Des de ja fa uns anys, l'augment interès per l'Astronàutica ha tingut un reflex en el món del model reduït com una entitat pròpia, i en conseqüència està causant un increment sobre l'afició d'aquest *hobby*.

Ningú ignora que en Espanya existeix una gran tradició i una gran afició per la pólvora, tot i així mentrestant que en altres països aquesta afició està molt dispersada i desenvolupada, a Espanya encara és una activitat molt poc coneguda, està molt dispersa, i s'usa de tant en tant d'amagat. També, en el nostre país existeixen algunes associacions i clubs que es dediquen a aquesta activitat, els quals compleixen estrictament les normes bàsiques en el desenvolupament d'aquesta disciplina.

El Modelisme Espacial posa en joc altres àrees del coneixement com són les matemàtiques, la geometria, la física, la química, l'electrònica, el disseny assistit per ordinador, la meteorologia, la fotografia, l'aeronàutica i l'aerodinàmica. Àrees que fomenten les manualitats i les capacitats artístiques i creatives del qui ho practica, transformant-ho en alguna cosa més que un senzill passatemps. Qui ho practica descobreix i desenvolupa tot el seu potencial personal, fomentat el treball en equip.

Així doncs, el Modelisme Espacial es presenta com una font inesgotable de possibilitats a desenvolupar, sent capaç de despertar la imaginació, la curiositat i la inquietud del investigador aportant una aventura envers l'esport.

Per últim, senyalar que Espanya està entre els primers llocs en el *ranking*³ mundial.

³ Classificació d'una competició esportiva.

1.1.1. Personatges importants.

En la història hem pogut observar diferents personatges molt importants dins del desenvolupament i el creixement científic dins de l'àmbit dels coets.

Robert Hutchings Goddard, (5 Octubre 1882 – 10 Agost 1945). Professor y científic americà, fou el primer constructor de coets amb control de crematge de carburants líquids.

Fou un instructor de física en Worcester Tec, més tard fou investigador de Princeton i es convertí en professor.



FIGURA 1.1: Robert H. G. posant pels periodistes.

El seu interès pels coets començà quan tenia 17 anys. El 1912 desenvolupà la teoria matemàtica detallada de propulsió de coets. El 1915 demostrà que els motors de coet podrien produir empenta en el buit i per tant, fer un vol espacial possible. El 1916, la Institució Smithsonian va proporcionar-li fons per continuar el seu treball en els coets de combustible sòlid i per començar el desenvolupament de coets de combustible líquid i així. Durant la Primera Guerra Mundial va estudiar les possibilitats militars dels coets.

El 16 de Març del 1926 va llançar el primer coet de carburant líquid en el món. Entre els anys 1930 y 1935 va llançar varis coets que arribaren a velocitats superiors als 885 Km/h. Amb el seu treballs va revolucionar algunes teories físiques de l'època que va viure, això provocà una ridiculització per part de la comunitat científica de llavors. Després de la seva mort fou declarat com un dels pares d'aquesta disciplina i havia creat 214 patents en els coets.

Actualment algunes instal·lacions de la NASA⁴ (*National Aeronautics and Space Administration*) porten el seu nom al seu honor.

⁴És l'Administración Nacional de l'Aeronáutica y de l'Espai, fundada el 29 de juliol del 1958.



FIGURA 1.2: Sergéi P.
posant pels
periodistes.

Sergéi Pávlovich Koroliov, (12 Gener 1907 – 14 Gener 1966). Aquest ucraïnà fou enginyer i dissenyador de coets en els inicis de la carrera espacial de l'antiga Unió Soviètica sobre l'any 1956. Supervisà els programes de Sputnik⁵ i Vostok⁶, arribà fins i tot a realitzar preparatius per posar el primer home en orbita. Fou una figura clau en el desenvolupament del programa de míssils balístics ICBM soviètics. Un dels seus lideratges que passarà al llarg de la història serà la posada en orbita del

primer satèl·lit Sputnik en el 1957. Conegut entre els seus amics com *El dissenyador Jefe*, va passar sis anys presoner en un Gulag siberià degut a les purgues estalinistes del 1938. Se'l considera l'homòleg contemporani i també dissenyador de coets alemany Verner Von Braun. Va ser també un dels inclosos en la llista dels especialistes que van anar a Hamburg, per invitació de les autoritats de l'ocupació britànica, per mostrar els llançaments dels míssils alemanys V-2 també coneguts com A4. Aquesta experiència que va obtenir Koroliov a Alemanya va marcar tot el seu treball posterior. L'ordre i una organització clara del treball, igual que una exigència d'alt rendiment per part de tots i un caràcter fort i alhora humil, és el que solen recordar d'ell tots els que van tenir l'oportunitat de treballar sota el seu comandament. Aquesta oportunitat la van tenir pocs, i tan sols va durar fins al 16 de gener de 1966, quan Koroliov va morir degut a problemes de salut originades per la seva estància a Sibèria.

⁵ Sèrie de missions espacials no tripulades, llençades per la Unió Soviètica a finals dels anys 1950.

⁶ Primera missió i projecte soviètic tripulat. Iuri Gagarin fou el primer home enviat a l'espai en el 12 d'abril del 1961.



FIGURA 1.3:
Wernher von Braun
posant pels
periodistes.

Wernher Magnus Maximilian Freiherr von Braun, (23 Març 1912 – 16 Juny 1977). Fou enginyer i dissenyador de coets per l'exèrcit alemany durant la Segona Guerra Mundial. Li foren encarregat per Hitler un coets carregats d'explosius per tal d'atacar l'enemic, ell dissenyà els A-3 i A-4 (també coneguts com V-2). Per la construcció d'aquests coets von Braun treballava amb l'ajuda d'esclaus. Es diu que en finalitzar la guerra s'havien llançat 1.155 bombes V-2 contra Anglaterra y unes 1.625 bombes contra

Amberes. Els militars diuen que si la producció massiva d'aquesta arma alemanya hagés sigut empresa abans, possiblement els alemanys haguessin guanyat la guerra. Llavors en el 1945, fou un dels homes més buscats, i finalment ell i cinc-cents científics més foren capturats pels americans durant el repartiment d'Alemanya. Els russos també l'intentaren capturar. Fou portat a Estats Units on es nacionalitzà com americà. Més tard, i sota la vigilància dels serveis secrets americans, s'incorporà al programa espacial Apolo de la recent fundada NASA, on desenvolupà el coet Saturn V que portà en el Juliol del 1969 el primer home a la Lluna. Llavors fou assignat director del Centre de Vol Espacial Marshall de la NASA i el principal dissenyador del Saturn V. El 1977 morir per un càncer incurable.

1.1.2. Agències aeroespacials.

El primer esment d'un vol de tipus astronàutic fou en el mite grec de Dèdal i Ícar. Durant segles el tema de l'accés humà a altres cosses celestes es van tractar d'una forma pintoresca i sense fonament científic. Fou a partir de l'obra de Kepler en que es van posar les bases teòriques de la futura astronàutica en descriure les lleis que regeixen els moviments dels cossos celestes. L'astronàutica va rebre un nou impuls amb l'obra de Jules Verne "*De la Terra a la Lluna*", en el 1866 en que l'autor descriu un viatge a la Lluna mitjançant un sistema balístic. L'obra va estimular l'interès per l'astronàutica i gràcies a ella, avui dia, l'avenç científic ens ha permès arribar a conèixer el Sistema Solar i més. És per això que les encarregades dels viatges astronàutics o espacials són les agències aeroespacials. És caracteritzades per la seva investigació d'alt grau de dificultat. És per això que cal destacar les següents agències:

La NASA

L'Administració Nacional de l'Aeronàutica i del Espai (NASA) és l'agència encarregada i responsable del programa d'investigació aeroespacial més coneguda del món. Aquesta agència és del govern dels Estats Units i començà a funcionar el 1958. En els EE.UU. tots els esforços d'exploració espacial han sigut dirigits per la NASA.

Un científic de la NASA es centra en la investigació de la Terra mitjançant l'observació del Sistema Solar, és per això que aquesta agència aeroespacial té un seguit de programes de investigació per explorar els òrgans de tot el nostre Sistema Solar amb avançades missions robòtiques.

La NASA comparteix dades amb diverses organitzacions nacionals i internacionals, com el satèl·lit d'observació de gasos de l'efecte hivernacle.

La part més important de les activitats que duu a terme aquesta agència són les seves missions, tripulades i no tripulades. Les missions no tripulades han explorat la major part del Sistema Solar.

Entre les missions tripulades totes són molt importants però destacarem una de les que ha commogut més a la població i ha sigut un avenç molt important en la història de l'home a l'espai.

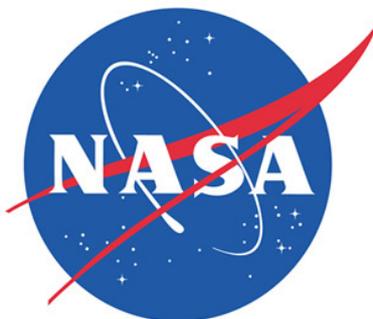


FIGURA 1.4: Logotip de la NASA.

El programa Apol·lo

Durant vuit anys de missions preliminars la NASA va tenir la primera pèrdua d'astronautes. L'Apol·lo 1 es va incendiar a la rampa de llançament durant un assaig i els seus tres astronautes van morir. Després d'aquest accident, va llançar un programa de premis per millorar la seguretat de les missions, el Premi *Snoopy*. El programa va aconseguir la seva meta amb l'Apol·lo 11, que va ser tripulada per Neil Armstrong i Edwin E. Aldrin en la superfície de la Lluna el 20 de juliol de 1969 i els va tornar a la Terra el 24 de juliol del mateix any. Les primeres paraules d'Armstrong al posar el peu sobre la Lluna van ser: "Aquest és un petit pas per a l'home, però un gran salt per a la humanitat". Deu homes més formarien la llista d'astronautes a trepitjar la Lluna quan va finalitzar el programa anticipadament amb l'Apol·lo 17 el desembre de 1972.



FIGURA 1.5: Apol·lo 11 enlairant-se de la llançadora.

L'ESA

L'Agència Espacial Europea és la porta d'accés a l'espai del continent europeu. La seva missió consisteix a configurar el desenvolupament de la capacitat espacial europea i garantir que la inversió en activitats espacials segueixi donant beneficis als ciutadans europeus.

Està composta per 18 Estats Membres. La coordinació dels recursos econòmics i intel·lectuals dels seus membres permet dur a terme programes i activitats de major abast que els que podria realitzar qualsevol país europeu individualment.

La missió de l'ESA consisteix en elaborar el programa espacial europeu i portar-lo a terme. Els projectes de l'Agència es dissenyen amb la finalitat de conèixer més la Terra, l'entorn espacial que envolta, el Sistema Solar i l'Univers, així com per desenvolupar tecnologies i serveis basats en satèl·lits i fomentar la indústria europea. L'ESA també treballa en estreta col·laboració amb altres organitzacions.



FIGURA 1.6: Logotip de l'ESA.

1.2. EL MODEL ESPACIAL.

Un Model Espacial és un model de coet fabricat amb materials lleugers no metàl·lics, impulsats per un motor dotat d'elements que permeten el vol i la seva recuperació de manera segura, que obeeix als principis de la física clàssica, de l'aerodinàmica i de l'aeronàutica en l'àmbit del llançament de coets balístics i del vol espacial orbital.

1.3. PARTS D'UN MODEL DE COET BÀSIC.

Totes i cada una de les parts d'un model de coet té la seva importància i juga un determinat paper en el funcionament de tot el conjunt.

Podem dissenyar un model senzill o complicar-nos en construir-ne un de més complexe, però s'ha de saber que al final de tot model de coet es pot reduir a les parts bàsiques de un coet senzill com el de la figura.

Normalment un model de coet sol tenir una forma allargada i aerodinàmica, acord amb les especificacions morfològiques donades per Jim Barrowman per l'aplicació de les seves equacions. També és cert que existeix una gran varietat de formes entre coets, míssils, avions i altres objectes volants no identificats, uns més o menys aerodinàmics i cridaners que els altres, a tots se'ls aplica les mateixes lleis físiques.



FIGURA 1.7: Model de coet amb les seves parts interiors i exteriors.

1.3.1. El con.

El con és la part del model de coet que obre camí durant el vol. Per aquest motiu, aquest component ha de tenir una forma el més aerodinàmica possible. Sobre aquesta part del model intervenen activament les forces aerodinàmiques de fricció que afecten al bon desenvolupament del vol. El con, en un model de coet, pot tenir diferents formes i magnituds. Cada forma té el seu propi coeficient de fricció i la seva localització del centre de pressions (CP). Però bàsicament existeixen tres tipus de con, que en funció de la seva forma poden ser els següents:

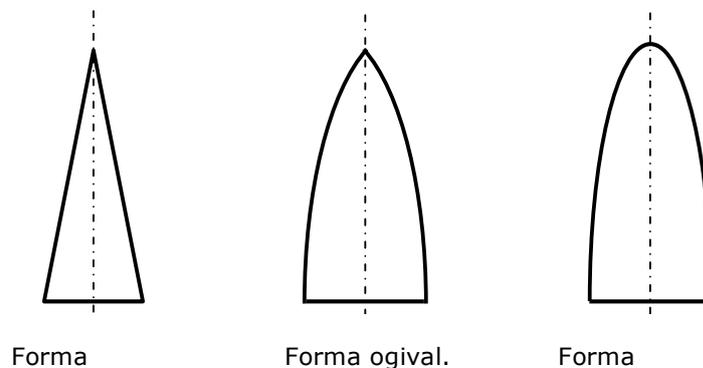


FIGURA 1.8: Tipus de nassos cònics.

1.3.2. El cos.

El cos d'un model de coet bàsic consisteix en un cilindre vuit o un tub d'una determinada longitud i gruix en el qual el seu interior s'hi localitza el

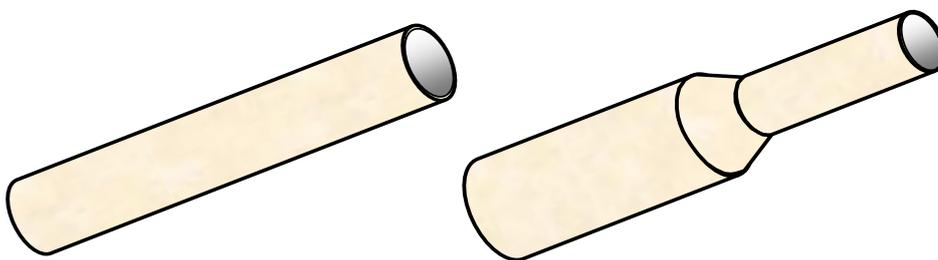


FIGURA 1.9: Dos cossos diferents d'un model de coet.

Sistema de recuperació, el Sistema contra incendis i el Suport del motor.

El disseny del cos d'un model de coet pot ser molt senzill (un tub), o pot tenir una o varies transicions còniques (*conical shoulders*) que augmenten o redueixen el diàmetre del cos.

1.3.3. El suport del motor.

Consisteix en una porció de tub en el qual el seu interior s'introdueix el propulsor o motor. El seu diàmetre anirà en funció del motor que utilitzem.

Aquest tub a la vegada s'ajusta a l'interior del cos del coet mitjançant dos peces en forma d'anella, el diàmetre del qual és exacte al diàmetre interior del cos del coet.

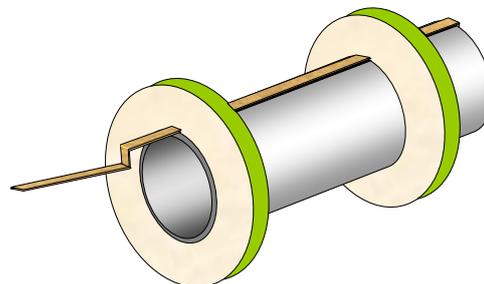


FIGURA 1.10: Suport del motor acabat amb tots els seus components.

Tot el conjunt pot enganxar-se a l'interior del cos, quedant així d'una forma fixa per un tipus de motor, o bé pot dissenyar-se per ser intercanviable i d'aquesta manera poder utilitzar diferents tipus de motor amb el mateix model. El motor finalment queda retingut en l'interior del Suport per una guia de material flexible.

1.3.4. L'abrasadora.

Consisteix en un petit tub rígid, de paper o de plàstic, col·locat a l'exterior del cos i paral·lel a l'eix longitudinal del model.

Aquest petit tub ha de tenir unes dimensions adequades pel model de coet que estiguem construint, i per la guia o rampa de llançament que s'utilitzi.

Serveix per permetre que el model llisqui per la guia, i que en el moment del llançament aquest obtingui una determinada direcció de vol.

En altres models, i sobretot en els Coets d'Alta Potència (HPR), enlloc d'una abrasadora, incorporen un adaptador en forma de "T" per lliscar per una rampa de llançament.

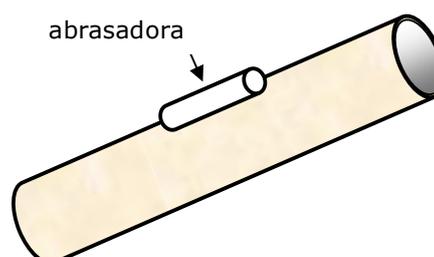


FIGURA 1.11: Cos del coet unit a l'abrasadora.

1.3.5. El sistema contra-incendis.

Si volem que el model pugui realitzar més d'un vol, i assegurar-nos d'una bona recuperació després de cada llançament, és imprescindible que disposi en el seu interior d'un bon sistema contra incendis.



FIGURA 1.12: Paper ignífug.

Al finalitzar un temps de retard, i normalment quan el coet comença a caure, els gasos produïts per la ignició de la carga d'ejecció faran que s'expulsi el sistema de recuperació. Aquests gasos finals són expulsats en major proporció per l'interior del cos del coet a unes temperatures molt altes en una fracció de segon. En aquest temps tan reduït, aquests gasos calents poden fer malbé l'interior del cos així com el propi sistema de recuperació.

Per disposar d'un sistema contra incendis efectiu, cal només introduir en el cos del model, un cotó especial ignífug o en la seva absència, un cotó banyat amb pols de talc que haurà de quedar aïllat entre el Suport del motor i el sistema de recuperació.

El desgast de l'interior del cos és a causa de les altes temperatures dels gasos d'ejecció del sistema de recuperació. Existeixen alguns mètodes més o menys complexos per refredar-los, com el de pintar l'interior del cos amb un tipus de pintura terrosa ignífuga, que pot incrementar una mica el pes del coet.

1.3.6. El sistema de recuperació.

Tots els models de coet han de tenir un sistema que asseguri un descens segur i controlat, de forma que arribi fins el terra sense patir cap dany material. Tant en un model de coet bàsic d'una sola fase, com en les diferents etapes dels models de coet de diverses fases, i en algun moment durant el seu trajecte de retorn a terra, expulsarà el sistema de recuperació. Normalment aquesta expulsió es realitza una vegada ha recorregut un temps de retard amb l'objectiu de donar temps a que el model arribi al moment de caiguda lliure. Aquest retard pot realitzar-se amb la carga incorporada al motor destinada a aquest propòsit en models petits, o mitjançant un temporitzador electrònic que activa una carga pirotècnica instal·lada a l'interior del cos del model. Normalment aquest últim mètode s'utilitza en els coets d'alta potència (HPR).

Existeixen diferents sistemes de recuperació on el més utilitzat és el paracaigudes. En trobem d'altres com el Planeig, Serpenti i el Giroscòpter.

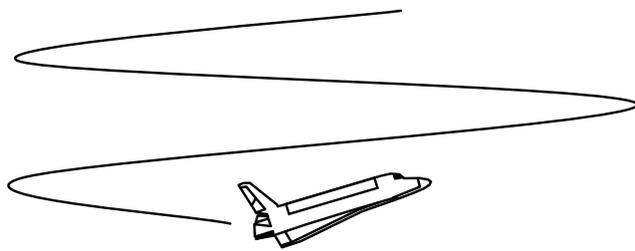


FIGURA 1.13: Trajectòria de planeig d'un avió.

En el sistema de planeig, el model fa el descens planejant fins arribar al terra. Aquest posseeix les mateixes característiques d'un avió o un veler.

També existeix una altra modalitat de recuperació que utilitza el mecanisme RC (Radio Control). En aquesta és important la precisió del pilot per aterrar la planejadora amb precisió sobre una pista d'aterratge.

En el modelisme espacial està prohibit dirigir coets per control remot (RC), i no es poden transmetre senyals per radio des del terra a un model, i no al revés. En relació als planejadors radio control, l'única

restricció que tenen és que durant l'ascens del model, l'equip ràdio control ha d'estar desconnectat.

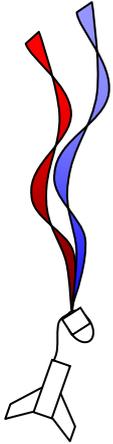


FIGURA 1.14: Sistema de serpentí.

En el sistema de serpentí o banderola consisteix en que en el descens del model es despleguen una o varies cintes amples i força llargues per frenar la caiguda.

És un sistema molt utilitzat en models molt petits i de poc pes.

No és el sistema més utilitzat, ja que no és molt segur a l'hora de dur a terme el descens.

El Girocòpter consisteix en un model que sigui capaç de modificar les seves característiques físiques durant el descens.

Es sol utilitzar algun mecanisme acoblat al cos o a les aletes del model que al finalitzar el ascens s'activi el desplegament del sistema perquè realitzi el descens girant sobre sí mateix com un helicòpter.

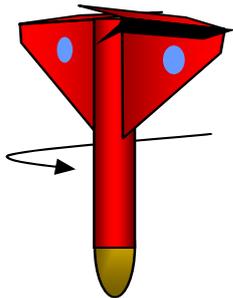


FIGURA 1.15: Giroscopi.

El sistema de recuperació més utilitzat i segur és el paracaigudes. Des dels inicis d'aquesta activitat i en

la majoria dels models de coet, el paracaigudes és el sistema més utilitzat pels modelistes. El paracaigudes ha de tenir les dimensions i el pes adequat per cada model. Normalment es fabrica amb materials molt lleugers, especialment la seda. També pot fabricar-se amb un tros de plàstic prim o un tall de tela de *nylon*.

Existeixen diferents models de paracaigudes en funció de la seva geometria i la seva forma.

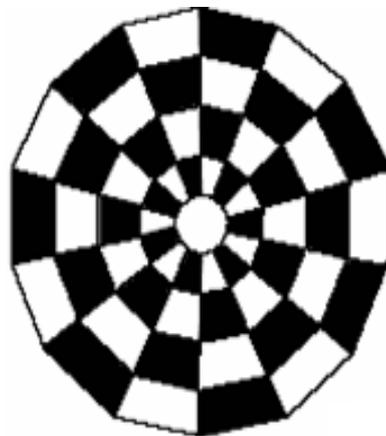


FIGURA 1.16: Sistema amb paracaigudes.

1.3.7. Les aletes.

Les aletes serveixen per estabilitzar el model i mantenir-lo en la direcció del vol que volem que transcorri. El número i la forma pot ser molt variada, però en resum han de ser superfícies llises perfectament alineades i adossades a l'exterior del cos de forma que no es puguin trencar durant el vol.

El perfil d'una aleta ha de ser aerodinàmic, molt semblant al de l'ala d'un avió. S'ha de tenir en compte que a l'hora de col·locar les aletes volem que l'aire s'expandeixi a igual pressió i velocitat per les cares del model.

La màxima altura que podrà assolir un model de coet estarà condicionada segons la relació del seu disseny aerodinàmic de les aletes.

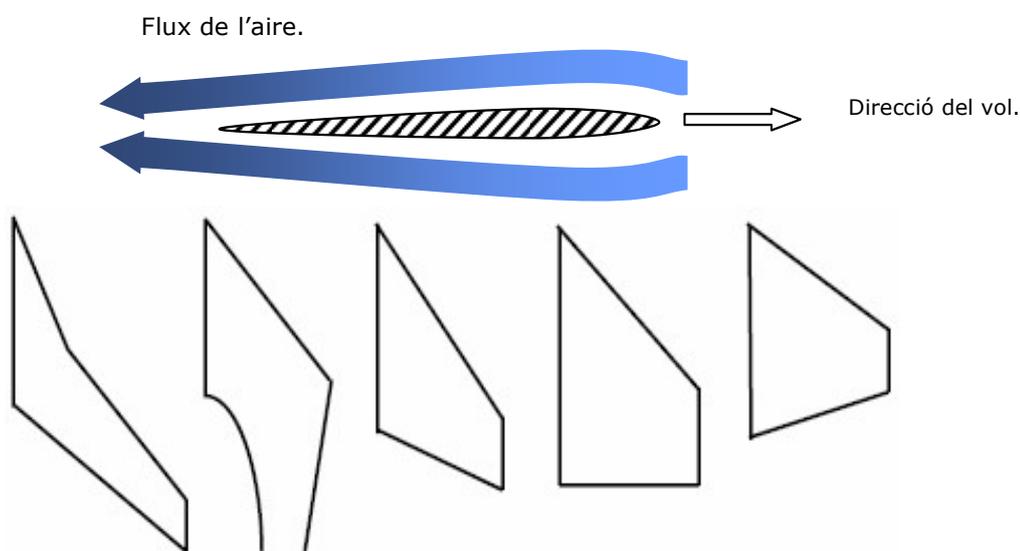


FIGURA 1.17: Diferents formes de les aletes d'un model de coet.

1.4. TIPUS DE MODELS DE COET.

1.4.1. Els planejadors.



FIGURA 1.18: Un planejador.

Els planejadors són aeromodels semblants a petits velers, la qual estructura va muntada als motors que els proporcionen l'empenta necessària per realitzar un enlairament horitzontal.

Per finalitzar, el model elabora el descens mitjançant un sistema de planeig. L'enlairament d'aquests models principalment es realitza mitjançant rampes casi horitzontals o amb molt pocs graus d'inclinació. Aquest tipus de models no arriben a massa altura ja que, per les seves característiques aerodinàmiques i físiques provoquen una gran resistència a l'aire a altes velocitats.

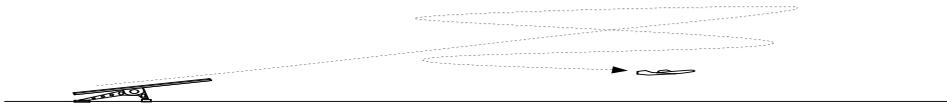


FIGURA 1.19: Recorregut d'un planejador.

1.4.2. Les llançadores.

Les llançadores són models compostos de dos parts. Per un costat està el coet, que és el que proporciona l'empenta necessària per arribar a l'altura determinada, i per una altra part està la llançadora.

Aquesta llançadora s'enlaira adossada al coet planejador que es desenganxa d'ell a l'altura màxima, on comença el descens. Les dos parts un cop desenganxades realitzen el descens, de manera que la llançadora el realitza mitjançant el sistema de planeig i, el coet, mitjançant el sistema de recuperació amb paracaigudes.

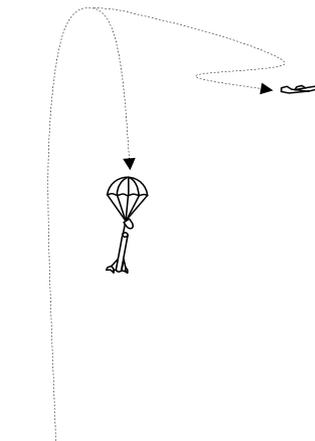


FIGURA 1.20: Recorregut de la trajectòria d'una llançadora.

1.4.3. Els coets.

Existeixen moltes categories de coets, des de models especials a escala i coets supersònics, fins míssils d'alta potència i coets de varies fases. Però bàsicament la configuració d'aquests models és la mateixa; tots tenen un cos en forma de con, allargat i amb unes aletes.

Alguns models de coet disposen d'una secció de càrrega per transportar objectes com càmeres fotogràfiques o vídeo, altímetres, localitzadors, etc.



FIGURA 1.21: Model de coet amb tres fins.

1.4.4. Els girocòpters.

Els girocòpters són models que durant l'ascens es comporten com coets i durant el descens es comporten com helicòpters. Alguns d'ells poden modificar la seva configuració, de manera que en arribar a l'altura màxima, quan comença a fer el descens, treu de manera automàtica el sistema de recuperació.

El girocòpter normalment sol ser d'una mida petita i de poc pes. L'altura que arriben a assolir aquests tipus de models és escassa però suficient per realitzar un descens segur.

Un cop consumit el combustible, aquests models acostumen a desenganxar-se del seu motor, activant en el mateix moment el sistema de recuperació per fer el descens girant sobre sí mateixos de manera segura.

En el mercat existeixen molts models prefabricats que es venen en forma de kits per poder-los construir de manera fàcil. N'hi han de molt senzills però també en podem trobar de més complexos pels modelistes amb més experiència.

De la mateixa manera podem trobar models a escala reduïda idèntics o molt semblants als reals, i d'altres amb formes curioses que també poden ser llançats i recollits de forma segura.

Tots els kits de muntatge que es venen a les botigues de modelisme vénen amb les peces prefabricades en plàstic preparades per enganxar i pintar. Aquestes peces tenen unes formes i mides exactes calculades pel fabricant. El coet final tindrà un pes en relació a un tipus de motor concret, i disposarà d'un paracaigudes amb la mida adequada per ser útil en el model construït. Aquests coets tenen un acabat més cridaner que els que es solen fabricar a casa. Hem de dir que tot depèn de l'habilitat del constructor.

El fabricant del kit sempre ens recomanarà quin motor utilitzar, assegurant així un vol estable i segur. Normalment aquests kits no venen acompanyats del motor, ja que és l'únic component del model que haurem de comprar a part.

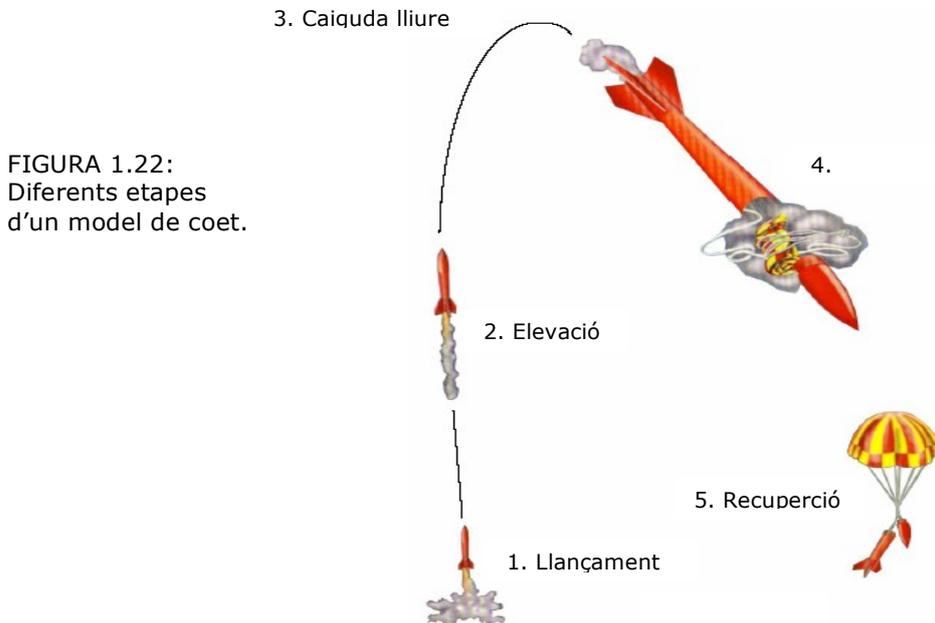
Per gaudir més d'aquesta activitat és recomanable si tens experiència, dissenyar i construir el teu propi model de coet de manera casolana, ja que és un repte pel constructor. La major satisfacció del modelista és veure volar el seu model fabricat, i si el vol és perfecte, la satisfacció és més gran.

A l'hora de construir un model casolà és recomanable començar per un coet bàsic i senzill. No és molt recomanable utilitzar materials pesats com el cartró, el PVC, etc. ja que es necessitarà un motor més potent que possiblement serà més difícil de trobar en el mercat, i el cost serà més alt. A més a més serà més difícil obtenir el màxim rendiment que en un model més lleuger.

Si es comença construint un kit de model de coet també és recomanat comprar-ne un de senzill i fàcil de fer, i no comprar-ne un de difícil, més car i vistós que llavors no voli com s'esperava.

1.5. ETAPES DURANT EL VOL D'UN MODEL DE COET.

Les diferents etapes durant el vol són les següents:



1ª Fase, Llançament: En aquesta fase es produeix la màxima acceleració del coet. En aquest petit interval de temps el coet es desplaça per la guia o la rampa de llançament fins quedar en llibertat. En aquesta el model ha de suportar la pressió de l'aire exercitada per l'acceleració del motor.

2ª Fase, Elevació: En aquesta fase el motor esgota el combustible i el model continua ascendent per l'aire a causa de la inèrcia fins a arribar a l'altura màxima. En aquesta fase de vol, el coet va perdent velocitat fins dur a terme el descens.

3ª Fase, Caiguda lliure: En aquest punt el model té una velocitat nul·la i ja ha arribat a la seva altura màxima. Seguidament comença a caure pel seu propi pes descrivint un arc en la fase de vol.

4ª Fase, Ejecció: Recorregut un temps de retard, es desplega el Sistema de Recuperació a causa dels gasos d'ejecció que expulsa el motor del model.

5ª Fase, Recuperació: El model realitza el descens lentament fins arribar al terra mitjançant el sistema de recuperació.

1.6. EL MOTOR.

El motor és la part més important del model ja que és l'encarregat de proporcionar l'impuls necessari per elevar-lo. Existeixen diferents tipus de motors per models espacials, motors de combustible líquid, motors de gas o híbrids, i de sòlids.

Al combustible d'un motor se l'anomena "propergol" o més comú "propel·lent", ja que és un tipus de combustible independent, és a dir, que no necessita l'aire atmosfèric per fer funcionar el motor.

La gama dels motors creix sense parar, a mida que els modelistes prosperen en la seva experiència, sorgeixen en el mercat nous motors. Els preus dels motors de major potencia augmenten en progressió geomètrica i això provoca que es busquin altres sistemes alternatius de propulsió.

Aquests progressos van afavorir fa uns anys l'aparició dels híbrids, que treballen amb dipòsits de gas d'òxid de nitrogen.

Aquests a la vegada es presenten en el mercat en tres alternatives diferents. Però aquest tipus de motors requereixen la utilització d'un equip a terra format per tancs de pressió i vàlvules que van fins el coet. La seva construcció ha de tenir una estructura acordada a l'ús d'aquest tipus de motors, ja que les acceleracions d'aquests són molt altes. Les marques més conegudes de motors híbrids són: *Ratt*, *Hypertek*, i *Aerotech*.



FIGURA 1.23: Diferents motors.

Normalment els models de coet casolans no s'enlairen de la plataforma de llançament tan lentament com ho fan els coets reals, sinó que ho fan de cop, molt ràpidament. Això es degut a que els models de coet a l'hora de enlairar-se tenen un moment d'inèrcia major que els coets reals. Els motors que es solen utilitzar en aquests models solen ser motors regressius, és a dir, que acceleren durant un marge de temps molt reduït

amb el màxim d'impuls en el moment que són encesos. Tot i així, els motors dels coets reals són motors progressius, és a dir, que estan especialment dissenyats per incrementar l'impuls conforma van consumint el combustible, arribant a assolir l'impuls màxim al final. Com és demostrat, els motors progressius són més eficaços a l'hora d'eleva grans coets de gran pes, però en el moment que abandonen la plataforma de llançament, aquests coets tenen més risc de que el seu vol sigui inestable, sobretot si no aconseguen accelerar el necessari o quan les condicions atmosfèriques són adverses. Els petits models de coet que utilitzen motors regressius, són menys pesats i assoleixen la velocitat necessària per assegurar l'estabilitat del vol casi en el moment d'abandonar la plataforma de llançament.

Així doncs, la velocitat de l'enlairament en el moment d'abandonar la plataforma de llançament és un factor important a tenir en compte per un vol estable de tots els coets en general.

1.6.1. El motor de carburant sòlid.

Dins dels motors de carburant sòlid trobem els convencionals, la marca més representativa és *Estes*, també trobem els motors de composite, la marca més coneguda és *Aerotech*, ja que hi han moltes més marques com: *Apogee*, *Quest*, *Cesaroni*, *Kosdon*, etc.

Els motors de carburant sòlid convencionals un cop utilitzats es solen llançar, és a dir, que són d'un sol ús, pel qual una vegada utilitzats no es poden tornar a carregar. Tot i així, alguns motors tenen una variant recarregable.

El principi del funcionament del motor de carburant sòlid és semblant al dels motors de carburant líquid, també aquests últims tenen una càmera de combustió separada del carburant, mentrestant que la càmera de combustió en els motors de carburant sòlid no existeix, ja que és la pròpia carcassa del motor la que realitza aquesta funció.

En l'interior del motor, els gasos que són causats per la combustió del material impulsor, exerciten una gran pressió en l'interior de la carcassa. Els gasos tendeixen a buscar la via d'escapament més pròxima. A partir d'això, es produeix la reacció justa en el sentit contrari al que són expulsats els gasos, on parlem de la 3^a Llei de Newton.

3^a Llei de Newton, Principi d'acció i reacció: Quan un cos realitza una força sobre un altre (acció), aquest mateix exerceix sobre el primer cos una força d'igual magnitud i en sentit contrari (reacció).



FIGURA 1.24: Exemple de la 3^a Llei de Newton en relació un motor de coet.

El motor de carburant sòlid és el més utilitzat pels models de coets, està format per un petit tub que fa de carcassa amb una ceràmica adossada a un extrem de la carcassa del motor on també trobem un petit forat on són expulsats tots els gasos a altes temperatures.

El carburant sòlid és un compost químic que proporciona una empenta necessària per elevar el model segons les seves especificacions. Bàsicament hi han dos tipus de motors de carburant sòlid que s'utilitzen habitualment:

-Els convencionals de pólvora, compleixen amb les necessitats dels que s'inicien en aquesta activitat.

-Els *composite*, el qual amb el seu carburant poden duplicar o triplicar la

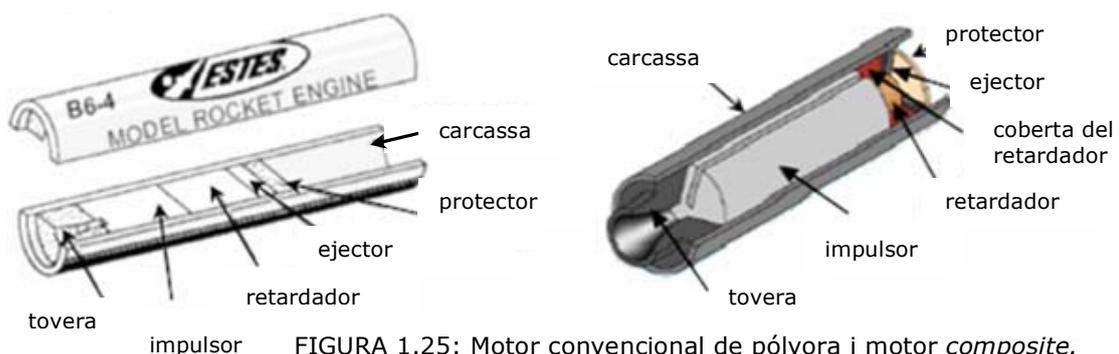


FIGURA 1.25: Motor convencional de pólvora i motor *composite*.

potència total dels convencionals amb la mateixa quantitat.

Els motors convencionals de pólvora s'encenen pel contacte de la metxa amb el combustible al principi del tub del motor. Pel que fa als motors de *composite* s'encenen per l'extrem superior del carburant, és a dir que la metxa s'introdueix fins al final del tub.

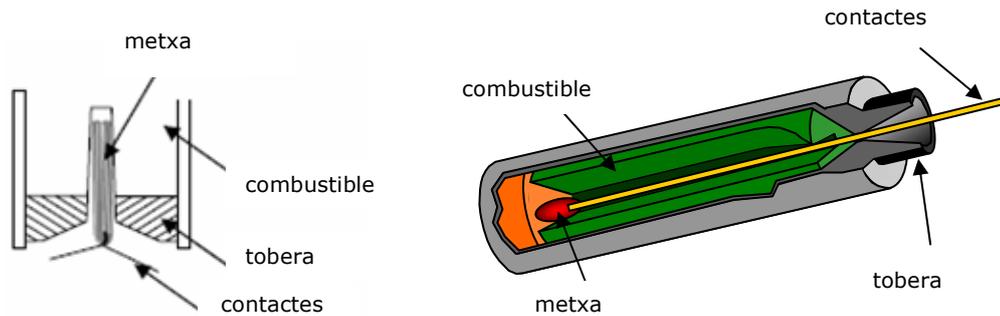


FIGURA 1.26: Metxa en un motor de pólvora i metxa en un motor *composite*.

El combustible es consumeix de manera continuada. El temps que triga en consumir-se es coneix amb el nom de "temps de cremada". En els motors de pólvora aquests temps són molt similars, mentrestant que el de *composite* poden ser molt variables.

Quan comença a cremar el combustible per la part final interior del tub del motor, en els motors de *composite* tenen la finalitat de mantenir la pressió màxima possible a l'interior de la carcassa, la intensitat la qual augmenta a mida que es consumeix més combustible. En canvi, en els motors convencionals de pólvora, el combustible comença a cremar-se per la part més pròxima a la metxa unida al motor; amb el que això produeix una pressió inferior en relació amb la que genera un motor *composite*. Aquesta és la raó per la qual els motors *composite* creen una capacitat superior d'empenta que els motors convencionals de pólvora.

Aquí podem demostrar el funcionament d'aquests motors en cada etapa de vol d'un model amb una breu representació gràfica:

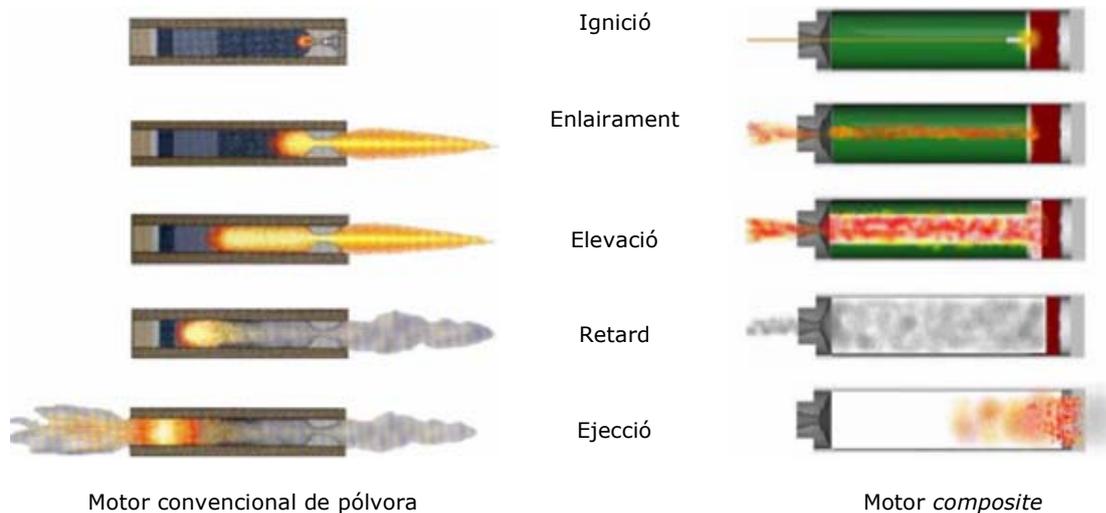


FIGURA 1.27: Etapes dels motors.

Trobem altres maneres de cremar el combustible d'un motor, depenent de la seva morfologia i composició, proporcionant així un tipus d'empenta concreta. Podem trobar motors que tenen una empenta de tipus progressiu, regressiu o neutre. Per saber quin tipus d'empenta té un motor hem d'observar la seva corba d'empenta. L'ejecció d'un o un altre tipus d'empenta dependrà del pes que volem elevar i l'altura que volem arribar a assolir, entre d'altres factors.

1.6.2. Codificació i classificació dels motors.

La denominació normalment surt a la carcassa o en el tap superior dels motors, així com en la caixa que l'embala. Per exemple:

G33J-S

La primera lletra identifica la potència de classificació. El següent nombre és l'empenta mitja, tot seguida d'una altra lletra que indica el tipus de combustible (aquesta opció és opcional) i, l'última lletra o xifra ens indica el retard en segons.

Un Kilogram d'empenta equival a 9.81 Newtons. L'impuls és la quantitat de força d'empenta (N) aplicada en un temps (s).

$$I = N \cdot s$$

Podem saber l'impuls total a partir de l'empenta mitja i el temps de combustió:

$$\text{Impuls total} = \text{empenta mitja} \cdot \text{temps de combustió}$$

Per saber-ho amb més precisió hem de tenir en compte la corba de potència del motor.

1.6.3. La corba d'empenta.

Aquesta imatge que podem observar és la radiografia del motor d'un model de coet. En aquesta gràfica del motor **B6-4** podem veure la potència màxima que es mostra en la part més alta en 13,4 N que s'assoleixen als 0,2 segons un cop s'ha encès el motor. L'empenta mitja (*Average thrust*) es troba als 5,8 N, i el temps de combustió és als 0,8 segons. En blau podem observar el temps de retard que en aquest cas és 4 segons.

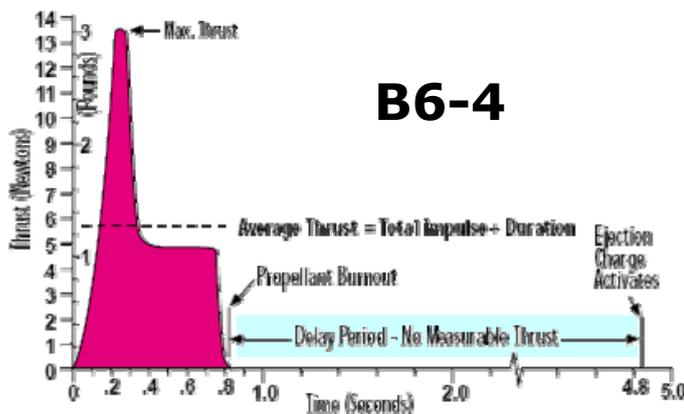


FIGURA 1.28:
Gràfica de
l'empenta del
motor B6-4.

El impuls total d'aquest motor és: $I = 5.8 \times 0.8 = 4.64 \text{ N}\cdot\text{s}$.

**[APLICACIÓ DE FACTORS AERODINÀMICS PER AL DISSENY I LA
CREACIÓ D'UN MODEL DE COET CASOLÀ]**

Tenint en compte l'impuls total els motors es classifiquen segons les següents taules:

Lletra	Impuls Total (N·s)	Lletra	Impuls Total (N·s)
1/4 A	de 0.312 a 0.625	G	de 80.01 a 160
1/2 A	de 0.626 a 1.25	H	de 160.01 a 320
A	de 1.26 a 2.5	I	de 320.01 a 640
B	de 2.6 a 5	J	de 640.01 a 1280
C	de 5.01 a 10	K	de 1280.01 a 2560
D	de 10.01 a 20	L	de 2560.01 a 5120
E	de 20.01 a 40	M	de 5120.01 a 10240
F	de 40.01 a 80	N	de 10240.01 a 20480

FIGURA 1.29: Taula de la classificació dels motors segons el seu impuls total.

Tenint en compte el diàmetre dels motors de carburant sòlid es classifiquen segons la següent taula:

Diàmetre [mm]	Longitud [mm]	Classe de motors	Tipus
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

FIGURA 1.30: Taula de la classificació dels motors segons el seu diàmetre.

Tenint en compte el combustible, els motors de *composite* estan dividits en relació a aquest concepte:

- **White lighting:** Són motors que produeixen una flama blanca i tenen una temps de combustió mig. La lletra assignada de referència a aquests és la **W**. L'empenta d'aquests motors és aproximadament 1,9 N/g.

- **Blue Thunder:** Aquests motors de flama blavosa casi no produeixen fum. Tenen un temps de combustió ràpid. La lletra assignada d'aquests és la **T**. S'ha de dir també que deixen anar tota la potència de cop.
- **Black Jack:** Aquests tenen una flama molt poc visible i produeixen molt de fum que sol ser negre. Tenen un temps de combustió lent, sobre 1,3 N/g. La lletra que els distingeix és la **J**.
- **Red Line:** La flama d'aquests és vermella i molt impactant. Són els motors més actuals i és distingeixen amb la lletra **R**.

1.6.4. Coeteria experimental.

És la disciplina dedicada a la construcció de motors casolans, en aquesta el modelista dissenya i construeix els motors de carburant sòlid, experimentant els resultats. Aquesta activitat és molt complexa, ja que la utilització inadequada de productes químics és molt perillosa i pot crear greus lesions a l'individu, per això s'ha de realitzar en laboratoris amb instruments adequats i amb les mides de seguretat necessàries per la fabricació d'aquests motors, i és molt recomanat fer-ho sota la supervisió d'una persona qualificada.

2.- AERODINÀMICA I MECÀNICA DE VOL.

2.1. EL CENTRE DE PRESSIONS (CP).

El centre de pressions és el punt on s'uneixen totes les forces aerodinàmiques normals que actuen sobre un model de coet durant el seu vol. És a dir, és el punt on actua la força normal resultant de totes les forces de pressió que exerceix l'aire sobre la superfície del coet. Aquest punt es pot situar depenent de la forma del coet i de l'angle d'atac.

2.2 LOCALITZACIÓ DEL CENTRE DE PRESSIONS (CP).

La localització del centre de pressions pot realitzar-se de diverses maneres. La forma més precisa però també més complicada consisteix en fer-li al model una sèrie de proves en un túnel de vent amb l'objectiu de determinar el seu marge d'estabilitat angular. El punt a on el model pivota (giri al voltant de l'eix) formant un angle de 90° amb respecte a la direcció del vent, serà el centre de pressions.

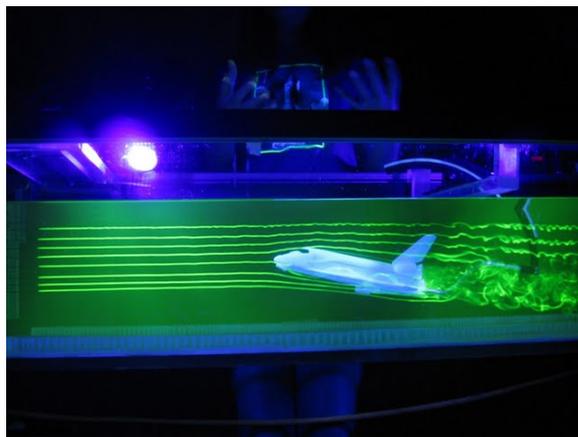


FIGURA 2.1: Model d'avió sotmès a prova en un túnel d'aigua.

La manera menys precisa però més senzilla de fer és la que es coneix com el mètode del centre de l'àrea lateral (CLA). Aquest model estàndard consisteix en retallar la silueta del model de coet sobre una taula o un paper de cartró rígid.

Col·locarem una regla o llapis a sota d'aquesta silueta, i buscarem el punt d'equilibri de la silueta. Suposant que el material que haurem utilitzat per retallar la silueta del model és de massa uniforme, el punt d'equilibri serà el centre de pressions de l'àrea lateral.



FIGURA 2.2: Mètode del centre de l'àrea lateral.

El mètode anterior determina la localització d'un centre de pressions per un cas improbable que sigui que l'angle d'atac sigui de 90° . D'aquesta manera, si el centre de gravetat queda situat per davant d'aquest punt,

es garanteix l'estabilitat del vol, tot i que el coet sigui sobre estable i pugui serpentejar una mica en dies amb vent.

Un altre mètode per trobar el centre de pressions de l'àrea lateral, força més precís, consisteix en dibuixar la silueta del model en un paper mil·limetrat. S'han de comptar els quadres complets que es troben en l'interior de la silueta del model i es divideix la xifra resultant per la meitat. Tornem a comptar quadres i el punt on arribem a la meitat, serà el centre de pressions.

Finalment, el mètode Barrowman, que és el que normalment utilitzen els programes informàtics, calcula la localització d'un centre de pressions ideal sempre que es compleixin unes determinades condicions.

Marcarem sobre el model el centre de pressions amb aquest símbol:



FIGURA 2.3: Símbol del centre de pressions.

2.3. EL CENTRE DE GRAVETAT (CG).

El centre de gravetat és el lloc on es concentra tot el pes del model. Per tant, trobem el mateix pes distribuït davant del centre de gravetat, com darrere seu. El lloc on es situa aquest punt pot variar durant el vol del model de coet, ja que quan el motor perd combustible i força el repartiment del pes del coet canvia.

2.4. LOCALITZACIÓ DEL CENTRE DE GRAVETAT (CG).

Per localitzar correctament el centre de gravetat d'un model de coet, aquest ha d'estar dotat de tots els elements necessaris per volar, és a dir, amb motor i paracaigudes.

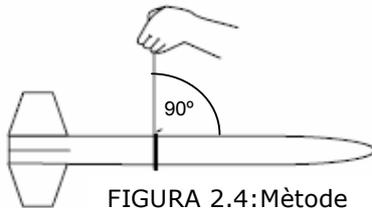


FIGURA 2.4: Mètode per localitzar el centre de gravetat.

El mètode per localitzar el centre de gravetat d'un model de coet consisteix en fer enllaçar amb un cordill el coet i anar situant en diferents llocs el cordill fins que el coet quedi perfectament anivellat.

Per cada tipus de motor i paracaigudes, que anem a utilitzar en el llançament d'un mateix coet, el centre de gravetat té una localització diferent. Així doncs, cada vegada que canviem de tipus de motor o paracaigudes, haurem de localitzar amb el mètode anterior el centre de gravetat del model i marcar-lo en el lloc on es localitzi abans del llançament.

Marcarem sobre el model el centre de gravetat amb aquest símbol:



FIGURA 2.5: Símbol del centre de gravetat.

2.5. EL MARGE D'ESTABILITAT.

El marge d'estabilitat en un model de coet és la distància entre el centre de pressions i el centre de gravetat.

La distància mínima per considerar-la com a marge d'estabilitat és una separació entre el centre de pressions i el centre de gravetat igual al diàmetre màxim del cos del model de coet. Aquesta distància mínima és coneix com calibre.

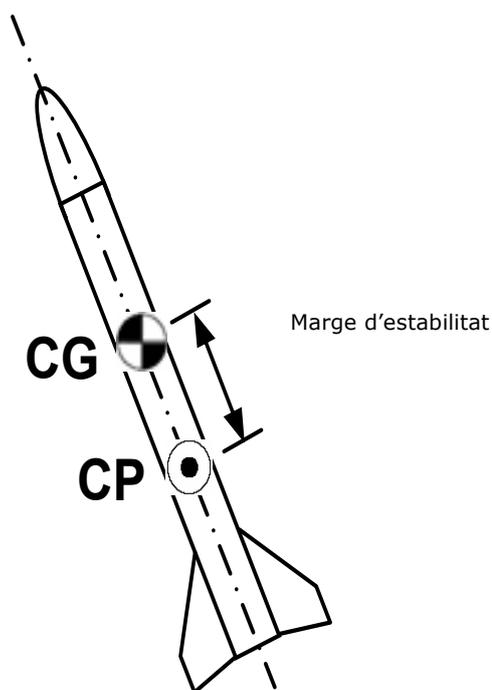


FIGURA 2.6: El marge d'estabilitat en un model.

2.6. EL ANGLE D'ATAC (AOA).

L'angle d'atac és aquell que forma l'eix longitudinal del coet respecte a la direcció de vol d'aquest. Aquest angle es sol representar amb la lletra grega α , i la direcció de vol es representa amb el vector velocitat del coet V sobre el centre de gravetat.

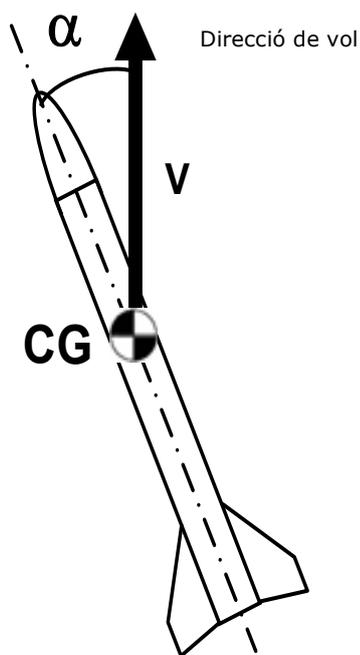


FIGURA 2.7: L'angle d'atac en un model.

2.7. LA FORÇA DE FRICCIÓ.

La força de fricció és la força aerodinàmica que actua directament sobre el centre de pressions i en sentit contrari a la direcció de vol del coet quan aquest es mou a través de l'aire que l'envolta. La intensitat d'aquesta força depèn de la superfície de la secció transversal del coet que actua la força de l'aire en ple vol. La força de fricció a mida que el coet es desplaça, va frenant el coet en ple vol.

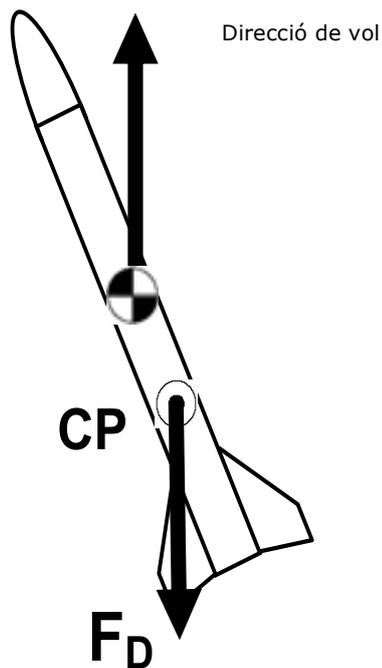


FIGURA 2.8: LA força de fricció en un model.

2.8. LA FORÇA DE SUSTENTACIÓ O NORMAL ($F_{N\alpha}$).

La força normal és la força que actua directament sobre el centre de pressions de manera perpendicular a l'eix longitudinal del coet, és la resultant de totes les forces aerodinàmiques que actuen sobre el coet i és la responsable de que el coet giri al voltant del seu centre de gravetat, generant així un moment de gir. La força normal fa que el coet oscil·li intentant de reduir l'angle d'atac. S'ha de dir que quan és més gran l'angle d'atac, més gran serà la magnitud de la força normal, sent així com a màxim un angle d'atac de 90° i mínim amb un angle d'atac molt pròxim a 0° .

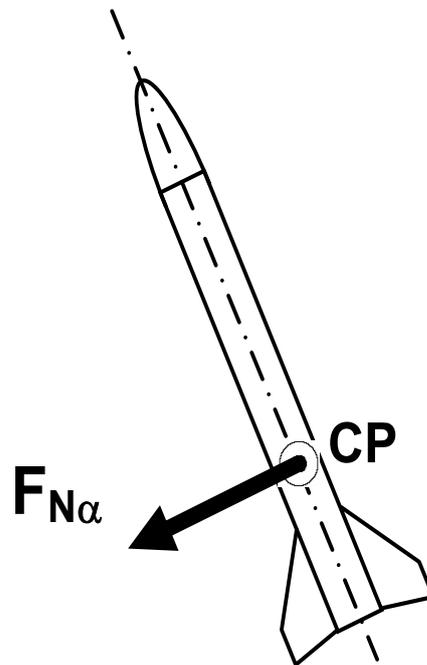


FIGURA 2.9: La força normal respecte el centre de pressions en un model.

2.9. EL MOMENT DE GIR.

El moment de gir és la tendència que fa girar el coet al voltant del seu centre de gravetat. En un model de coet, el moment de gir és el resultat de multiplicar la força normal que actua sobre el centre de pressions, pel marge d'estabilitat, en un moment determinat durant el vol.

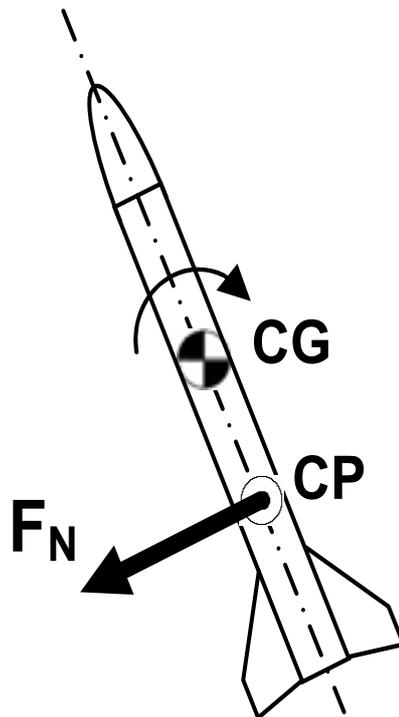


FIGURA 2.10: EL moment de gir en un model.

2.10. EL MOMENT D'INÈRCIA.

Quan el moment lineal total es conserva en un sistema inercial, es denomina moment d'inèrcia a la quantitat de moviment en un determinat moment. La quantitat de moviment, moviment lineal en un moment determinat, és una magnitud vectorial que es defineix com el producte de la massa del coet per la velocitat en el determinat moment. A la variació de la quantitat de moviment també se'l denomina impuls.

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

2.11. L'EMPENTA.

L'empenta és la força que es necessita per fer moure o desplaçar un determinat cos amb pes amb una determinada acceleració des del punt inicial que es trobava en repòs.

Un Newton (N) és a quantitat necessària per proporcionar una acceleració de 1 m/s^2 a 1 kg de massa.

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

El pes és la força que fa la gravetat sobre un cos , llavors el Newton també es considerat una unitat de pes. Una massa de kilogram té una empenta de $9,81 \text{ N}$.

2.12. L'IMPULS.

L'impuls és la força aplicada en un interval de temps. Es calcula amb Newtons per segon (N·s).

També es pot expressar com la variació de la quantitat de moviment:

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

$$I = m \cdot \Delta \mathcal{V}$$

2.13. QUÈ ES L'ESTABILITAT?

L'estabilitat d'un model de coet en un vol assegura la seguretat dels passatgers i les seves propietats. Ha de ser molt important l'estabilitat per un modelista. I comprovar anteriorment si el model tindrà en un futur un vol estable.

Les estadístiques indiquen que un alt percentatge dels accidents que es generen entre les persones i els coets són a causa de les propietats del coet que no són del tot ben dissenyades pel modelista. La falta d'atenció en la construcció dels models, el poc interès dedicat al concepte de l'estabilitat, la imprudència en el transport i la manipulació dels motors, i les imprudències a l'hora dels llançaments en llocs inadequats, són els factors que normalment solen generar accidents. Els accidents creats pel mal funcionament del motor degut a defectes de fabricació són molt poc freqüents.

Per conèixer bé el concepte de l'estabilitat i el seu significat, posarem un exemple que consisteix en situar una bola de goma en una superfície còncaua:

1. Sense sostindre la bola amb la mà, aquesta es troba en la base en repòs. Es troba a la seva posició neutral inicial.



2. Ara si posem la bola a un costat, per mantenir-la en aquesta posició haurem de aguantar-la amb la mà. Aquesta posició li direm posició desplaçada, i mentre estigui sostinguda per nosaltres, no es mourà de la posició.



3. Si deixem anar la bola podem observar que es desplaça oscil·lant fins que finalment redueix el moviment fins aturar-se a la posició neutral inicial. D'aquest moviment en diem oscil·lació positiva.



FIGURA 2.11:
Representació de la bola de goma en una superfície còncaua.

“Quan un objecte, que ha sigut desplaçat de la seva posició neutral inicial per l'acció d'alguna força, oscil·la fins a trobar una altra vegada la posició neutral inicial, es diu que és estable.”



4. Si intentem col·locar la bola a sobre d'una forma convexa, seria gairebé impossible que es quedés en repòs.



5. Ara posem la bola en una posició desplaçada en aquesta forma convexa mantenint-la sostinguda amb la mà. La bola estarà indefinidament en aquesta posició fins que no la deixem anar de la nostra mà.



6. Deixem anar la bola des de la posició que acabem de veure. La bola caurà rodant per la superfície convexa i s'allunyarà d'aquesta botant fora el sistema sense trobar una posició neutral inicial. A aquesta oscil·lació en diem oscil·lació negativa.

FIGURA 2.12:
Representació de la bola de goma en una superfície còncava.

“Quan un objecte, que ha sigut desplaçat des de la seva posició neutral inicial per l'acció d'alguna força, oscil·la sense trobar una altra vegada la posició neutral inicial, es diu que és inestable.”



7. Finalment, col·loquem la bola en una superfície sense relleu, és a dir, plana i horitzontal. En aquesta veurem que la bola no es mourà en cap ocasió, ja que, sempre quedarà en una posició neutral.

FIGURA 2.13:
Representació de la bola de goma en una superfície plana.

“Quan un objecte que ha sigut desplaçat des de la seva posició neutral per l'acció d'alguna força, oscil·la fins a trobar una altra posició neutral, es diu que té una estabilitat neutre.”

2.14. REGLA D'ESTABILITAT EN UN MODEL DE COET.

"Un model de coet serà estable sempre que el seu centre de pressions estigui situat per darrere del seu centre de gravetat."

La raó per la qual el centre de pressions es troba per darrere el centre de gravetat és perquè el coet en vol lliure actua com un pèndol en moviment oscil·latori, en el que el punt de gir és sempre a través del centre de gravetat. Algun exemple per aclarir el concepte, és el cas d'un vaixell el qual podem observar que el seu centre de gravetat es troba en la bodega, el més a prop possible de la quilla, i per sota del seu centre de pressions. En un coet és molt semblant però a la inversa, és a dir, el centre de pressions ha d'estar situat a la cua d'ell, mentre que el centre de gravetat es trobarà més a prop de con.

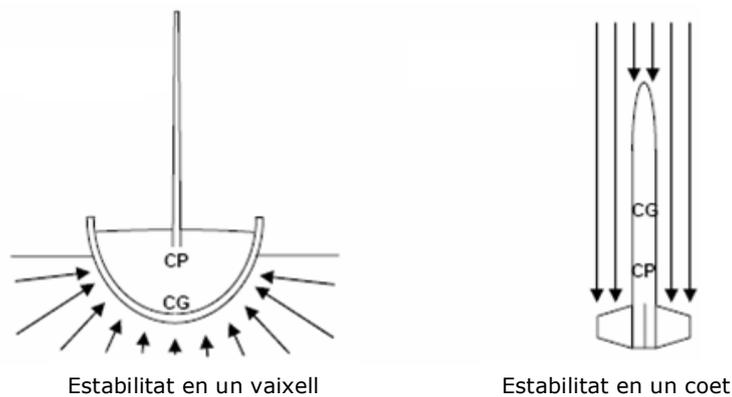


FIGURA 2.14: Relació entre l'estabilitat d'un vaixell amb el d'un coet.

2.15. PROVA D'ESTABILITAT. MÈTODE DE GIR.

El millor mètode experimental, per saber si un model de coet serà estable o no, consisteix en lligar una corda sobre el centre de gravetat del model ja preparat per ser llançat, és a dir, amb el paracaigudes i el motor inclosos. Fixem bé el nus amb cinta adhesiva, i comencem lentament a donar-li voltes sobre el nostre cap amb precaució de fer-ho en un lloc sense obstacles, de manera que podem observar a la figura.

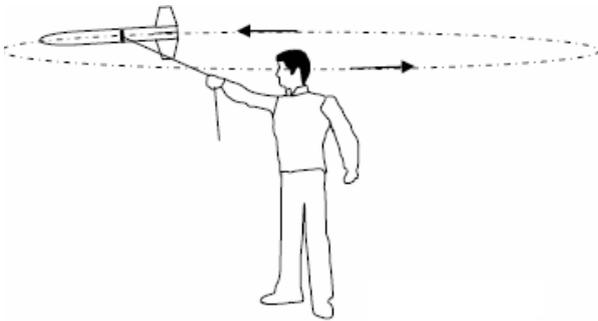


FIGURA 2.15: Prova d'estabilitat mitjançant el gir del coet respecte nosaltres.

Poc a poc anirem augmentant la velocitat de gir. No ens hem de preocupar si al principi el model no sembla que vulgui anar en la direcció correcta. Si el model de coet és estable, ell sol anirà oscil·lant sobre el seu centre de gravetat reduint el seu angle d'inclinació i

corregint la seva trajectòria progressivament. Així seguirem incrementant la velocitat de gir fins que el model quedi horitzontal i el seu eix longitudinal sigui paral·lel a la trajectòria que realitzi.

En aquest punt de la prova pot passar que el model no aconsegueixi mai arribar a assolir la trajectòria horitzontal paral·lela al seu eix longitudinal, i que estigui formant un determinat angle d'atac en relació a la trajectòria que hauria de seguir. En aquest cas, és possible que aquest angle d'atac que està descrivint, el model no sigui estable quan vagi a ser llançat. Tot i que pugui ser-ho per angles d'atac més reduïts. Però no ens arrisquem a tenir un accident, així que necessitem realitzar les correccions oportunes sobre el model de coet, i tornar a repetir aquesta prova fins que aconseguim que el model voli estable.

2.16. CORRECCIONS A LA PROVA D'ESTABILITAT.

Les correccions a la prova d'estabilitat, en el cas de que el model no aconsegueixi assolir la trajectòria horitzontal paral·lela al seu eix longitudinal, consisteixen en modificar la localització del centre de gravetat en el model, augmentant la distància entre el centre de gravetat i el centre de pressions. O bé en modificar la localització del centre de pressions canviant la forma del model augmentant per exemple la superfície de les aletes o la longitud del cos.

Per modificar la localització del centre de gravetat podem optar per diverses solucions:

1. Afegir una mica més de pes en el con del model.
2. Restar o afegir pes en el paracaigudes, substituint-lo per un altre de menor o major densitat i mida, segons convingui per cada tipus de coet.
3. Restar pes a la cua, substituint el motor per un altre que pesi menys.

Aquestes correccions van relacionades amb l'alçada que pugui assolir el model. Però van a favor de la seva estabilitat, i en conseqüència, de la seguretat de les persones i de les seves propietats.

2.17. TEORIA DELS MOMENTS APLICATS ALS MODELS DE COET.

La tendència que fa que un cos giri al voltant del seu eix, es coneix amb el nom de moment. La formula matemàtica que el relaciona és la següent:

$$M = F \cdot L$$

M = Moment de força al voltant d'un punt de gir.

F = Força aplicada sobre l'extrem d'un braç de palanca.

L = Longitud del braç de palanca.

A mida que la força es fa més gran, proporcionalment es faran més grans el moment i la tendència a girar. També passa si la longitud del braç de palanca augmenta.

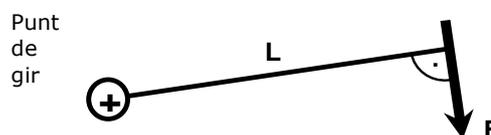


FIGURA 2.16: La tendència al gir i el moment.

Si fem una prova amb una finestra mig oberta, podrem observar que en aplicar una força petita a prop de les frontisses de la porta veurem que és molt difícil i costós el moviment d'aquesta, en canvi, si apliquem la mateixa força a l'extrem més llunyà de les frontisses de la porta veurem que aquesta es mou amb molta facilitat i lleugeresa. Aquesta és l'aplicació del braç de palanca, com més gran sigui, la força serà menor.

En el cas d'un coet passa el mateix, la força normal actua sobre el centre de pressions on crea un moment de gir sobre el centre de gravetat. Si el coet és estable, aquest moment de gir fa que oscil·li positivament al voltant al centre de gravetat, i en conseqüència l'angle d'atac format per l'eix longitudinal i la direcció del vol, estarà contínuament corregint-se i agafant valors molt pròxims a zero, així doncs, el model volarà en línia recta. En canvi, si el coet és inestable, aquest moment de gir farà que el model oscil·li negativament en torn al centre de gravetat augmentant l'angle d'atac i provocant que el model voli sense una direcció determinada.

2.18. MOVIMENT DELS COETS DURANT EL VOL.

El moviment dels coets durant el vol es poden classificar en tres tipus:

2.18.1. Moviment de translació.

El moviment de translació és aquell en que el coet es desplaça cap a un costat o a un altre, a dalt o a baix, però el coet apunta sempre en una mateixa direcció.

Aquest moviment està relacionat amb l'altura que arribarà durant el vol, i la causa és per les forces que actuen sobre el centre de gravetat, que són: el pes, l'empenta del motor i la resistència de l'aire.

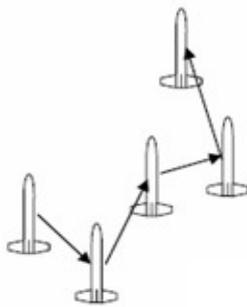


FIGURA 2.17: Moviment de translació.

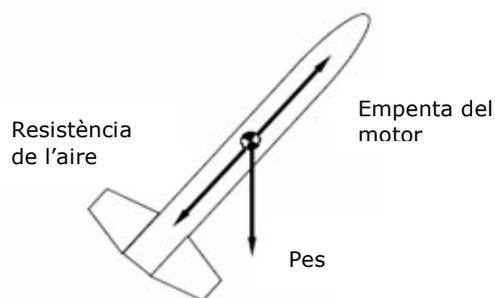


FIGURA 2.18: Forces relacionades amb la translació d'un coet.

2.18.2. Moviment de gir.

El moviment de gir és aquell en el que el coet gira al voltant d'un eix, que sempre serà el seu centre de gravetat. En aquest moviment, el coet apunta a diferents direccions. Està relacionat amb l'estabilitat del coet en ple vol, i la causa és per les forces que actuen perpendicularment sobre el centre de pressions del coet, que són essencialment les de la pressió de l'aire.

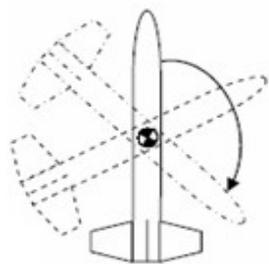


FIGURA 2.19: Moviment de gir.

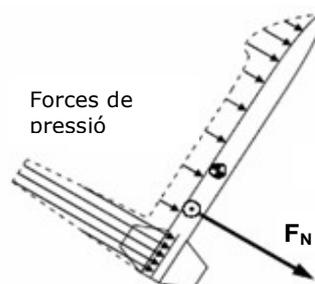


FIGURA 2.20: Forces relacionades amb el gir d'un coet.

2.18.3. Moviment de rotació.

El moviment de rotació és aquell en el que el coet gira al voltant del seu eix longitudinal. L'acció de les forces aerodinàmiques que actuen sobre les aletes del coet mentre està en ple vol són les causant d'aquest moviment. Si les aletes no estan ben alineades respecte l'eix longitudinal del cos, poden provocar sobre el coet que aquest giri sobre si mateix.

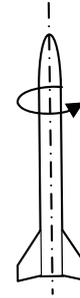


FIGURA 2.21:
Moviment de rotació.

Qualsevol moviment d'un coet en ple vol, és una combinació de rotació, translació i de gir, simultàniament.



FIGURA 2.22:
Moviment d'un coet amb un vol estable.

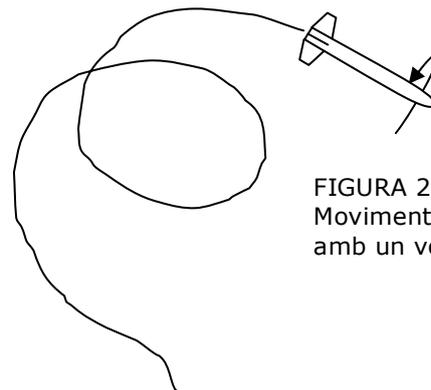


FIGURA 2.23:
Moviment d'un coet amb un vol inestable.

2.19. L'ESTABILITAT DURANT EL VOL.

L'estabilitat durant el vol és molt important en un model de coet, però també s'ha de tenir molt en compte com es comportarà aquest durant el vol i si anirà guanyant més estabilitat, o pel contrari volarà de forma inestable.

2.19.1. Com afecta el vent en la trajectòria d'un coet.

El vent afecta a un model de coet en dos aspectes: en la seva estabilitat i en la seva trajectòria de vol.

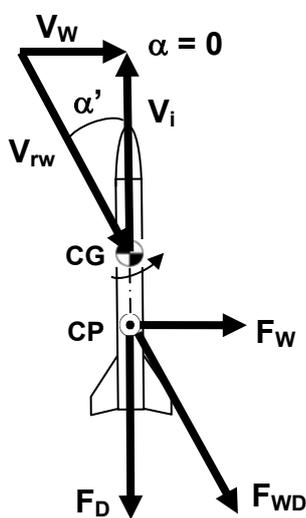


FIGURA 2.24: Diagrama de les forces que actuen sobre un model.

L'etapa més crítica per un model de coet és el moment de l'enlairament. La velocitat en la que el model abandona la plataforma de llançament, el seu marge d'estabilitat i el vent lateral, juguen un paper molt important a l'hora de determinar de quina forma volarà el coet.

Mentre el model estigui ben situat a la plataforma de llançament juntament amb la guia, es pot garantir l'estabilitat durant els primers instants en que el model s'eleva.

Abans de sortir de la guia podem dir que el coet ha adquirit una velocitat (V_i), i l'angle d'atac és $\alpha=0^\circ$. Però el vent lateral (V_w) en combinació amb la velocitat de l'enlairament (V_i) genera una resultat que s'anomena vent relatiu (V_{rw}) que és una component més sobre el coet que pot veure's en forma de F_{WD} actuant sobre el centre de pressions del model. Aquest vent relatiu forma un angle d'atac potencial α' .

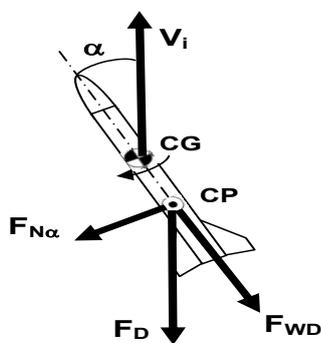


FIGURA 2.25: Diagrama de les forces que actuen sobre un model.

Quan el coet voli lliure sense la direcció de la guia aquest serà el futur angle α' d'atac. Però mentre tingui contacte amb la rampa l'angle d'atac serà nul.

Un cop lliure el coet, el vent relatiu (F_{WD}) genera un moment de gir, i l'angle potencial α' es converteix en l'angle d'atac real α . Llavors es produeix en pocs instants de segon que el coet gira en direcció al vent relatiu.

Mentre el coet va guanyant altura verticalment, les forces aerodinàmiques es combinen per crear la força normal que intentarà que l'angle d'atac sigui zero, generant un moment de gir contrari.

2.19.2. Estabilitat i desplaçament del Centre de Pressions (CP).

Jim Barrowman va reconèixer que el centre de pressions en un model de coet durant el vol lliure tendeix a inclinar-se cap al centre de gravetat a mida que l'angle d'atac es va fent més gran. Quan llancem un model de coet en un dia sense vent lateral, en el moment que abandona la rampa de llançament, l'angle d'atac és molt petit i la força normal és mínima, per la mida que segueix ascendent la força del vent relatiu pot fer que l'angle d'atac augmenti fins a $\alpha = 90^\circ$, on la força normal serà màxima.

Perquè un angle d'atac sigui $\alpha = 0^\circ$ el centre de pressions es situa especialment a un lloc del coet on l'angle d'atac augmenta, el centre de pressions s'anirà desplaçant cap al con.

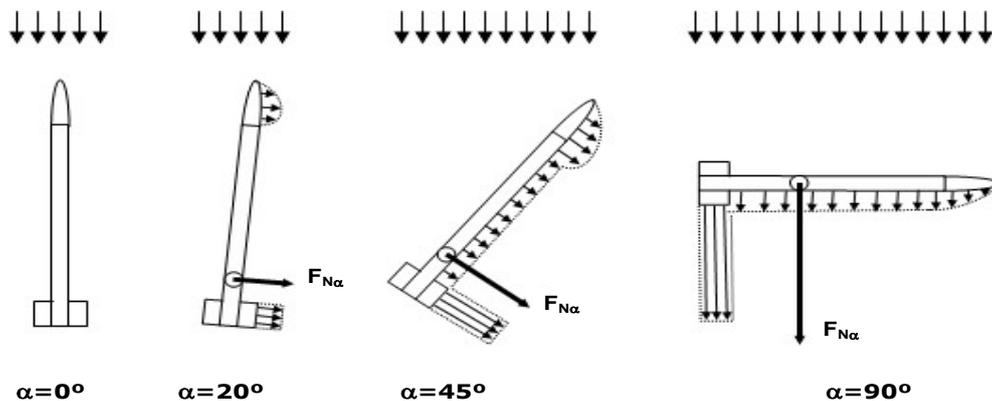


FIGURA 2.26: Diagrama de la força del vent que actua sobre l'angle d'atac d'un model.

El lloc on es situa el centre de pressions més a prop del con és en el centre de l'àrea lateral del coet, és a dir, quan l'angle d'atac sigui $\alpha=90^\circ$.

No podem confiar en la meteorologia, ja que, l'aparició d'una forta ràfega de vent lateral en ple vol ens pot fer bolcar el coet i que arribi a tenir un angle d'atac $\alpha=0^\circ$. És per això que hem d'estudiar amb atenció els possibles comportaments del nostre model davant d'aquestes adversitats meteorològiques.

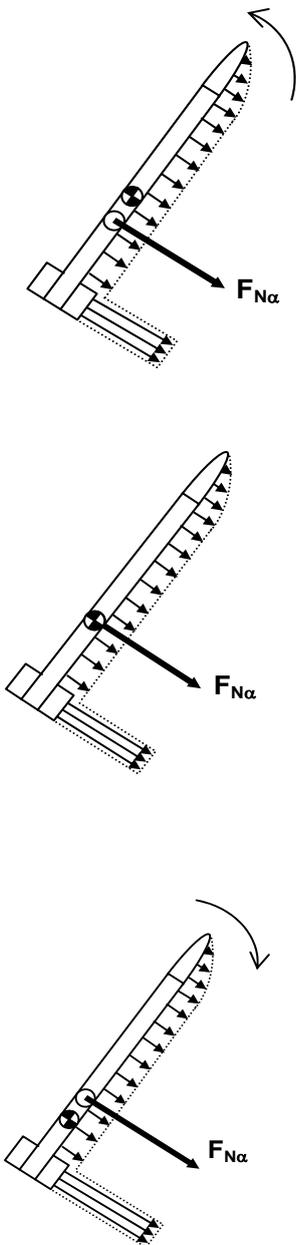


FIGURA 2.27: Diagrama del comportament d'un model de coet segons el seu marge d'estabilitat.

Així doncs si la distància entre el centre de pressions i el centre de gravetat és prou ampli, llavors el centre de pressions no arribarà a passar el centre de gravetat i el moment de gir degut a la força normal serà sempre més gran en el costat de la cua que en del con, el qual fa un gir cap a l'angle d'atac més petit, és a dir, el model oscil·la positivament.

Donada aquesta posició desplaçada del model, si el marge d'estabilitat és molt just, el centre de pressions pot arribar a coincidir amb el centre de gravetat, i el moment de gir serà inexistent, el qual es tradueix en un desplaçament del coet amb una estabilitat neutral.

Si el marge d'estabilitat és insuficient, en aquesta posició desplaçada del model del centre de pressions, i el moment de gir degut a la força normal serà més gran que en el costat del con que en el de la cua, el qual es tradueix en un gir del model augmentant l'angle d'atac en trajectòria decadent, és a dir, el model oscil·la negativament.

En resum, en un sistema estable, amb prou marge d'estabilitat, prou velocitat d'enlairament i sempre oscil·larà positivament.

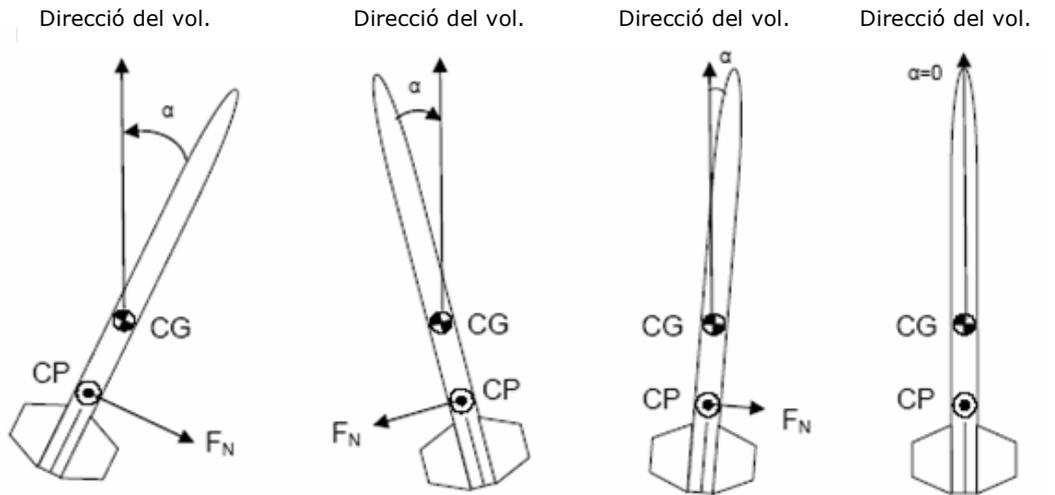


FIGURA 2.28: Correccions durant el vol d'un coet estable. El model sempre oscil·la positivament al voltant del seu centre de gravetat reduint progressivament el seu angle d'atac fins que aquest és nul, és a dir, oscil·la positivament fins a trobar la seva posició inicial neutral.

També hem de saber que el centre de gravetat pot canviar-se de localització durant el vol ja que el pes del model varia segons és va cremant el combustible del motor augmentant així la distància entre el centre de pressions i el centre de gravetat. Però aquest efecte sempre és favorable a l'estabilitat del vol del coet.

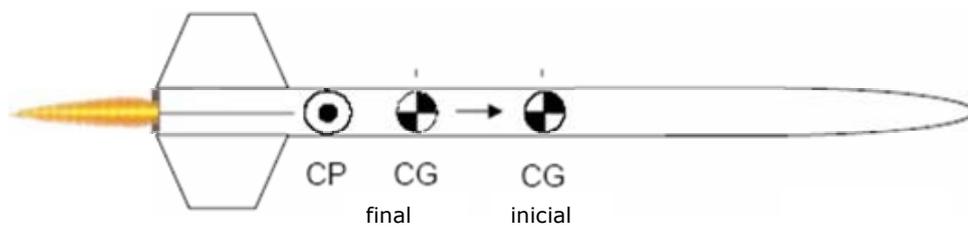


FIGURA 2.29: Variació del centre de gravetat durant el vol del model.

2.20. TEORIA DE LA CAIGUDA LLIURE I EL DESCENS AMB PARACAIGUDES.

El sistema de recuperació que predomina en els models de coets són els paracaigudes. Podem trobar-los de maneres molt diferents segons la forma, la mida, el teixit i el color.

En els models amb secció de càrrega útil és necessari disposar d'un diàmetre concret del paracaigudes i no d'un estàndard, ja sigui per millorar el temps de permanència en l'aire, o per arribar a una determinada velocitat de descens. Hem de saber alguns conceptes de la física tradicional.

2.20.1. Caiguda lliure abans de l'obertura del paracaigudes.

Quan un model de coet comença a fer el descens des d'una determinada altura suposem que la seva caiguda és lliure, el pes i la fricció amb l'aire són les úniques forces que actuen sobre ell. Mentre que la força de fricció és tan petita que és inapreciable, l'acceleració durant la caiguda és constant. Les equacions del moviment són les següents:

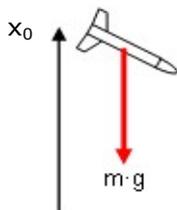


FIGURA 2.30: Descens amb caiguda lliure del model.

El pes: $F = m \cdot g$

L'acceleració: $a = -g$

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

L'espai recorregut: $x = x_0 - (g \cdot t^2) / 2$

On:

m: És la massa del coet expressada en Kg.

g: És el valor de l'acceleració de la gravetat que és constant $9,81 \text{ m/s}^2$.

t: És el temps recorregut des de que comença a caure, expressat en segons.

X₀: És l'altura inicial des de que comença a caure, expressada en metres.

2.20.2. El descens amb paracaigudes.

En desplegar-se el paracaigudes el model està sotmès a l'acció del seu pes i d'una força de fricció proporcional al quadrat de la velocitat de descens i a la constant de proporcionalitat del paracaigudes.



FIGURA 2.31:
Descens amb
paracaigudes del
model.

$$F_r = m \cdot a$$

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

On:

a: És l'acceleració en el moment d'obrir-se el paracaigudes.

v: És la velocitat de descens en aquest instant.

k: És la constant de proporcionalitat del paracaigudes.

L'empenta de l'aire no s'aprecia ja que la densitat de l'aire és molt inferior que la del cos. Per una altre costat, hem de saber que la fricció del model amb l'aire és molt petit i inapreciable.

La constant de proporcionalitat "k" és:

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

On:

ρ : És la densitat de l'aire. Tot i que la densitat de l'aire varia amb l'altura, en els càlculs aproximats s'utilitzarà normalment el seu valor al nivell del mar que és $1,223 \text{ kg/m}^3$.

A : És l'àrea frontal del paracaigudes exposada a l'aire, expressada en m^2 .

C_d : És el coeficient de fricció que canvia segons la forma del paracaigudes.

En aquesta taula podem veure la proporcionalitat dels coeficients de fricció en diferents objectes:

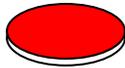
Forma de l'objecte		Valor aproximat del Cd
Disc circular rígid		1.2
Hemisferi		0.8
Semi-hemisferi pla		0.75
Esfera		0.4
Avió/Planejador		0.06

FIGURA 2.32:
Proporcionalitat
dels coeficients
de fricció.

Quan el model en la caiguda lliure desplega el paracaigudes, aquest redueix molt la velocitat fins a arribar a una velocitat límit de descens, que serà constant fins que arribi a terra. Aquesta velocitat límit s'obté quan el pes és igual a la força de fricció, és a dir, quan l'acceleració és zero.

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

Així doncs, aïllant la velocitat de l'expressió anterior, obtindrem que la velocitat límit del descens és:

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

Una velocitat de descens pot considerar-se segura per un model de coet quan és mou entre els 3,35 m/s i els 4,26 m/s.

En general, els paracaigudes pivoten violentament degut a que l'aire es desprèn pels costats d'ell mateix. Per millorar l'estabilitat durant el descens, es sol fer un forat al centre del paracaigudes. L'àrea del forat ha

de ser aproximadament del 1% al 10% de l'àrea total de la superfície plana del paracaigudes.

Substituint k i aïllant A en l'expressió anterior, podem deduir que l'àrea mínima necessària d'un paracaigudes, per una determinada velocitat de descens desitjada, en funció del pes total del model de coet, i de la forma del paracaigudes, està donada per la següent fórmula:

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

3.- CONSTRUCCIÓ.

3.1. INTRODUCCIÓ.

En les botigues d'aeromodelisme podem trobar kits complets de construcció de coets. Aquests models venen prefabricats i són de plàstic amb colors molt vistosos, i el seu muntatge és molt senzill.

Sens dubte, la satisfacció de veure volar un model de coet fabricat per un mateix és molt més gran. Per això, en aquest apartat explicarem com construir de forma senzilla, pas a pas, el nostre propi coet.

És important si ets un principiant, començar amb models bàsics i a mida que es vagi tenint experiència, construir cada vegada models més complets.

En aquesta secció explicarem detalladament les tècniques més bàsiques per la construcció d'un model de coet. Així doncs, començarem fent un disseny previ del model de coet en un pla. No ens hem de complicar en fer un disseny que no pugui volar, que no sigui aerodinàmic, o que sigui molt difícil de construir, o el pitjor, que no sigui estable.

Per construir el model de coet hem d'utilitzar un material que sigui lleuger, resistent, manejable, etc. Per aquest motiu, realitzarem el procés de construcció en aquest capítol amb la fusta de balsa. Tot i així, es poden utilitzar altres materials per la construcció d'algunes parts del model com són: el paper, el cartró i el PVC. Alguns d'aquests materials no són tan manejables i lleugers com és el cas de la fusta balsa. Si volem utilitzar algun derivat del plàstic necessitarem eines i maquinària especialitzada. En el cas d'utilitzar materials més pesats com el PVC, necessitarem disposar de motor molt més potents i més cars.

Un dels requisits principals, en la construcció d'un model de coet, és que aquest ha de pesar el mínim possible per aprofitar la màxima potència dels motors i aconseguir així, la màxima altura possible.

3.2. CONSTRUCCIÓ D'UN MODEL DE COET BÀSIC.

Per construir un model de coet senzill o bàsic és necessari disposar d'un material concret. Per tant, necessitarem:

- Un tall de paper.
- Cola de contacte.
- Una bossa gran de plàstic (bossa de les deixalles).
- Panell de fusta de balsa d'1 mil·límetre de gruix.
- Panell de fusta de balsa de 7 mil·límetres de gruix.
- Corda fina de *nylon* i un *cutter*.
- Paper de llima de diferent gruix.
- Una baga i una tira d'acer de poc gruix de 3x100 mil·límetres.
- 50 centímetres de goma elàstica de banda (de les de costura).
- Vàries gomes elàstiques normals.
- Cinta adhesiva.
- Un vernís tapa porus i pintura per aeromodels.

En la construcció començarem pel suport del motor. Per això, primer de tot agafarem les mides del motor que utilitzarem pel futur model (l'allargada i la circumferència de la base), i tallarem dos trossos de planxa de fusta de balsa d'1 mil·límetre. Aquests trossos han de tenir una longitud d'1,5 mil·límetres més curta que la longitud del motor, i han de tenir una amplada una mica més gran que la longitud de la circumferència de la base del motor.

Mullarem amb aigua les dues planxes i les plegarem molt lentament per l'allargada, al voltant d'un motlle cilíndric o tub del mateix gruix que el motor. Una vegada que estiguin completament enrotllades al voltant del motlle, les lligarem amb unes gomes

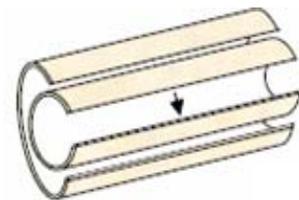


FIGURA 3.1: Suport del motor.

elàstiques perquè no s'obrin i les deixarem eixugar.

Una cop estiguin seques les dues planxes de fusta de balsa, construirem un tub amb una de les planxes de manera que el motor encaixi en el seu interior. Reforçarem aquest enganxant la segona planxa al voltant d'ell, tallant la fusta que ens sobri.

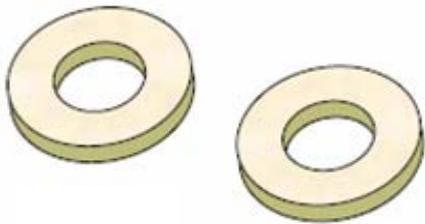


FIGURA 3.2: Anelles per subjectar el suport el tub.

Per fer la subjecció d'aquest tub al cos del model, tallarem dos anelles de fusta de balsa de 7 mil·límetres, de manera que la circumferència exterior tingui una longitud igual al que tingui l'interior del cos del model, i que en l'orifici interior encaixi amb el tub que hem fabricat.

Abans d'enganxar-les al tub, farem un petit tall a cada anella en la part interior, per així que pugui passar la subjecció del motor, que és una petita tira d'acer de 3x100 mil·límetres que haurem doblegat amb un angle recte de 5 mil·límetres per un extrem.

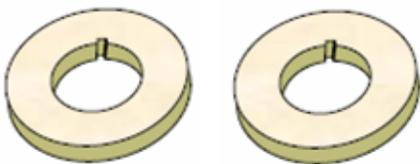


FIGURA 3.3: Anelles amb un tall interior.



FIGURA 3.4: Abrasadora del motor.

Col·loquem i enganxem en el tub, les dos anelles i la tira d'acer del motor de manera que quedi abraçant el tub.

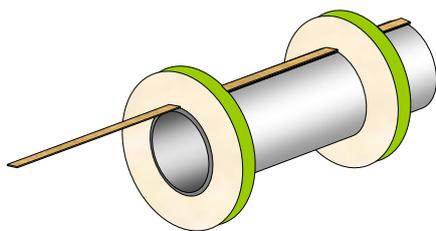


FIGURA 3.5: Anelles unides a l'abrasadora del motor i al tub de encaix de motor.

Finalment, provarem d'introduir el motor a l'interior del tub de manera que, la tira d'acer farà de suport del motor, i aquest ha de sobresortir aproximadament 1,5 centímetres per l'altre extrem del tub.

Amb el motor introduït, marcarem sobre la tira d'acer la seva mida. Traurem el motor i el doblegarem per tal que el motor quedi ben subjectat.

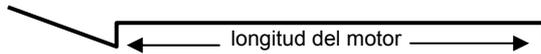
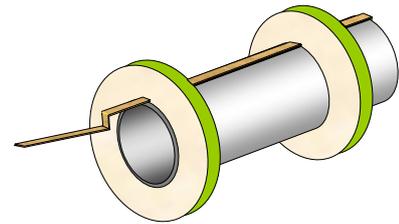


FIGURA 3.6: Anelles unides a l'abraçadora doblegada i al tub de encaix del motor.

Per fer un tub porta-motor, també podem utilitzar un tub de cartró o plàstic amb un diàmetre a la mida del motor que es vagi utilitzant en el model de coet. S'ha de tenir en compte que aquests materials són més pesats que la fusta balsa.

Seguidament, tallarem dos planxes de fusta balsa d'1 mil·límetre amb les mides indicades en les instruccions de construcció del model. Mullem amb aigua les dues planxes i quan estiguin estovades, els donarem forma de tub a les dues col·locant-les molt poc a poc al voltant d'un motlle de forma de tub que

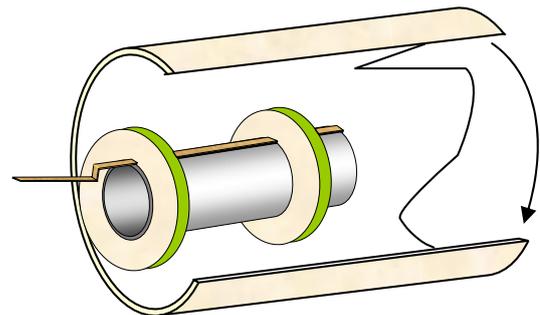


FIGURA 3.7: Cobriment del conjunt amb planxes.

tingui un diàmetre aproximat al que tenen les anelles del suport pel motor. Igual que en el procés anterior, les subjectarem amb unes gomes elàstiques perquè no s'obrin, i les deixarem eixugar.

Una vegada que estiguin seques, traurem les gomes i el motlle de les taules. Agafem una de les planxes i enganxem amb cola de contacte el suport del motor a un dels extrems i tanquem el tub del cos al voltant d'ell, tallem la fusta que ens sobri i enganxem els voltants.

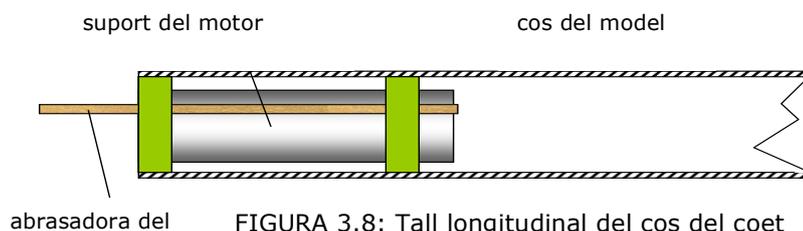


FIGURA 3.8: Tall longitudinal del cos del coet amb el suport del motor.

Una vegada que la cola estigui seca, reforçarem el cos amb l'altra planxa de fusta, enganxant-la a sobre el tub i tallant la fusta que ens sobri.

Finalment, per evitar que els gasos del motor cremin massa la fusta a l'interior del cos, podem passar una capa de pintura a l'interior. Així millorarem la resistència del coet i, tot i que incrementarà el pes, augmentarem la vida del coet.

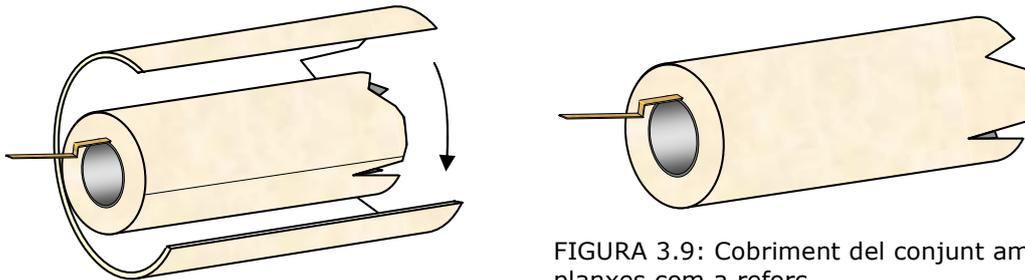


FIGURA 3.9: Cobriment del conjunt amb planxes com a reforç.

El següent pas serà construir el con. Per això tallarem varies tabletetes de fusta de 7 mil·límetres i enganxarem les unes amb les altres fins a formar un taco amb la base més ampla que el diàmetre del cos.



FIGURA 3.10: Construcció del con.

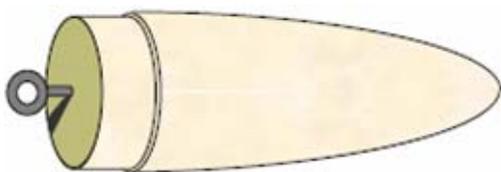
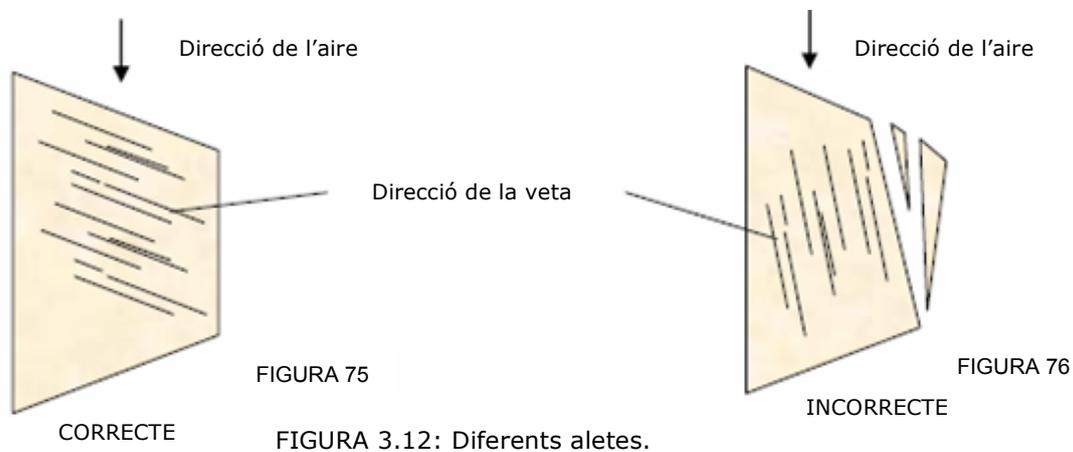


FIGURA 3.11: El con amb l'encaix i la boga a la base.

Seguidament, amb el *cutter* anirem donant-li forma al con. Intentant que ens quedi simètric al seu eix longitudinal i procurarem que la base tingui el mateix diàmetre que el cos. Utilitzarem paper de llimar de diferent gruix per acabar de donar forma al con.

Finalment, realitzarem un esglaó d'uns 2 centímetres de longitud i 2 mil·límetres de profunditat, perquè pugui quedar encaixat a l'interior del cos sense que pressioni gaire, i clavarem la boga a la base.

Per construir les aletes tallarem dos planxes de fusta de balsa d'1 mil·límetre (per cada aleta), amb les dimensions que s'indiquin a les instruccions del model. És molt important que la fusta quedi horitzontalment a la vora d'atac de l'aleta. Per altra banda, pot trencar-se en el moment del llançament.



Enganxem les planxes per parelles, fins tenir totes les aletes. Llimem amb paper de llima fina els extrems exteriors de cada aleta, per donar-los forma aerodinàmica. Acabem enganxant les aletes en la part exterior del cos, en l'extrem on està el suport del motor.

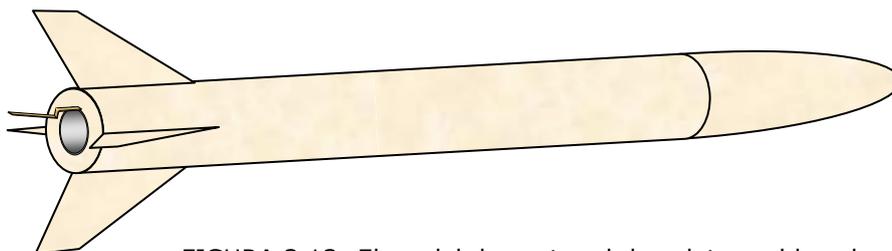


FIGURA 3.13: El model de coet amb les aletes col·locades.

Farem l'abrasadora per la guia de la plataforma de llançament, enrotllant un petit tros de paper de 30 mil·límetres de longitud per formar un tub que llisqui suaument per la guia. També podem utilitzar un tall de palleta de begudes refrescants, però només si la guia que utilitzarem té un diàmetre inferior a ella. Finalment enganxarem l'abrasadora al cos en la part exterior del cos, a prop del centre de gravetat, de manera que quedi paral·lel a l'eix longitudinal del cos.

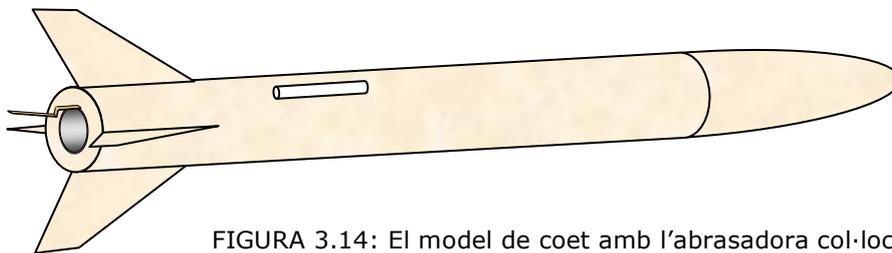


FIGURA 3.14: El model de coet amb l'abrasadora col·locada.

Per construir el sistema de recuperació, farem un paracaigudes. Per això, hem de tallar un cercle, o una forma de polígon amb una superfície amb relació al pes del model, de la bossa de plàstic fina.

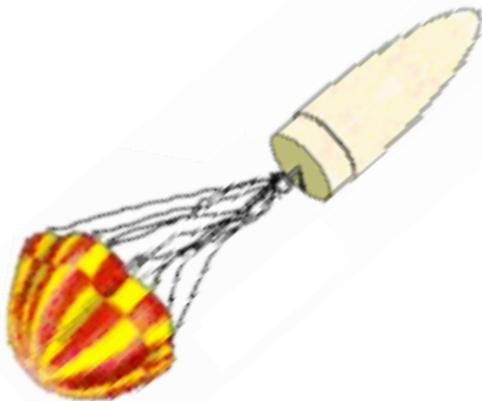


FIGURA 3.15: El con amb el paracaigudes unit a la baga.

Tallem vuit fils de 50 centímetres de longitud cada un, i els lliguem per un extrem als laterals del paracaigudes amb una cinta adhesiva, de manera que quedin equidistants els uns entre els altres. Ajuntem els fils per l'altre extrem i els lliguem a la baga del con.

Ara agafem la cinta de goma elàstica i la lliguem a la baga del con per un dels extrems i, per l'altre extrem, l'enganxem a l'interior del cos amb una bona cola de contacte. Aquest extrem ha de quedar ben enganxat, a una distància més enfonsada que la secció d'encaix que li havíem fet al con anteriorment, per altra banda el con no quedaria ben encaixat al cos.

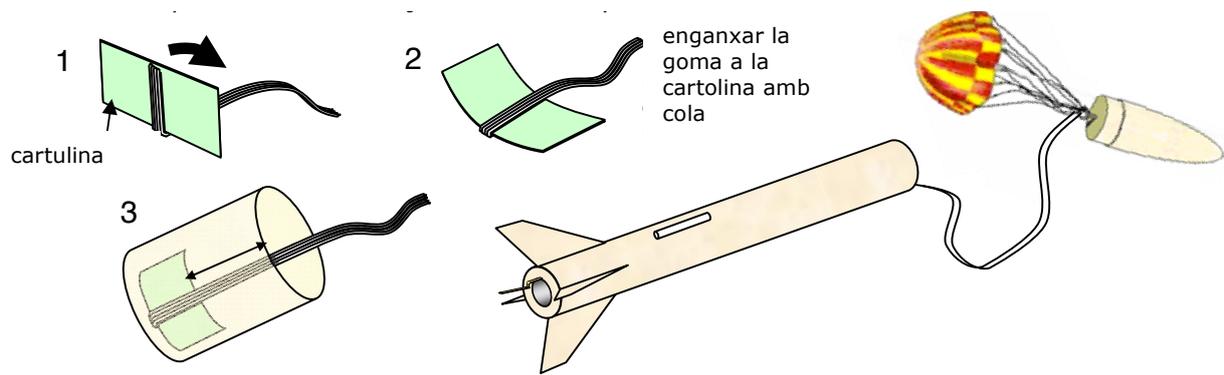


FIGURA 3.16: Passos per subjectar el con al cos del model de coet.

Per acabar el model, apliquem dos capes de vernís tapa porus sobre totes les parts del model, llimant les superfícies amb un paper de llima fina entre capa i capa. Finalment podem pintar el model i decorar-lo al nostre gust.

3.3. CONSTRUCCIÓ D'UN MODEL DE COET AMB CÀRREGA ÚTIL.

Els coets amb secció de càrrega útil entren en la categoria dels "transportadors" o "llançadores", i es distingeixen dels models bàsics per destinar una part de la seva estructura especialment dissenyada i adaptada al transport d'una determinada càrrega.

Pràcticament tots els coets reals transporten algun tipus de càrrega útil com persones, satèl·lits, explosius o altres mecanismes electrònics. Aquestes càrregues útils han de complir unes normes molt exactes i seguir uns protocols molt estrictes per poder ser transportades pels coets.

En el modelisme espacial els models de coet no han de transportar explosius, per prohibició de la Legislació vigent i Normativa FAI.

Tota càrrega transportada per un coet ha d'anar assegurada en un suport de disseny especialment pel seu transport. Aquesta càrrega no ha de desplaçar-se per dins de la secció, ni pot moure's durant l'enlairament.

L'Agència Europea de l'Espai (ESA) va publicar a la seva pagina web un document de lliure distribució en el qual s'especifiquen les condicions tècniques que han de complir els països fabricants de satèl·lits que vulguin utilitzar els seus vehicles per posar-los en òrbita. Precisament, especifica les característiques tècniques dels suports de càrrega en els seus coets *ARIANE* i *VEGA*.

En la Normativa de competició esportiva de la FAI, els coets que competeixen amb càrrega útil entren en la "Classe S-8". En aquesta competició, els models de coet transporten un petit cilindre de metall amb un determinat pes i dimensions, que és igual per a tots els competidors. Aquesta càrrega podrà introduir-se i extreure's de la secció de càrrega útil amb facilitat, però no ha de despendre's durant el vol i la recuperació del model. Fora de la Normativa FAI, cada modelista dissenya la seva pròpia secció de càrrega útil per una determinada funció com la fotografia aèria, filmacions de vídeo, experiments biològics, instal·lacions d'altímetres o altres objectes electrònics, etc.

Per construir un model de coet amb càrrega útil és necessari disposar d'un material concret. Per tant, necessitarem:

- Un tall de paper.
- Una làmina de plàstic lleuger transparent.
- Cola de contacte.
- Una bossa gran de plàstic fina.
- Panell de fusta de balsa d'1 mil·límetre de gruix.
- Panell de fusta de balsa de 7 mil·límetres de gruix.
- Corda fina de *nylon* i un *cutter*.
- Paper de llima de diferent gruix.
- Una baga i una tira d'acer de 3x100 mil·límetres.
- 50 centímetres de goma elàstica plana.
- Vàries gomes elàstiques normals.
- Cinta adhesiva transparent.
- Un vernís tapa porus i pintura per aeromodels.

Construirem el suport pel motor, el cos del model, les aletes i l'abrasadora per la guia de llançament, de la mateixa manera que hem explicat en la "Construcció d'un model de coet bàsic".

El següent pas serà construir la secció de càrrega útil. Per això tallarem una tira de plàstic lleuger d'uns 10 centímetres d'amplada, enganxem la vora interior amb una tira de cinta adhesiva transparent, de manera que quedi un tub del mateix diàmetre que el cos, i reforçarem donant tres o quatre voltes al plàstic lleuger per fer un tub més resistent.

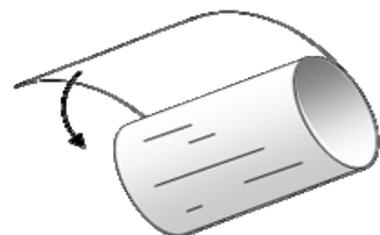


FIGURA 3.17:
Construcció de la
secció de càrrega útil.

Enganxarem el vora exterior del plàstic lleuger perquè no s'obri i el subjectarem amb una cinta adhesiva transparent.

Si volem incorporar un altímetre, hem de fer un petit forat perquè la pressió atmosfèrica sigui la mateixa a dins de la secció a la del exterior.

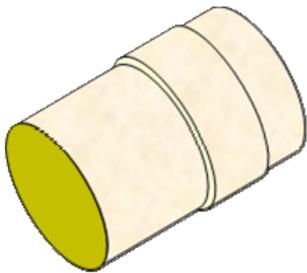


FIGURA 3.18: Secció de càrrega útil en construcció.

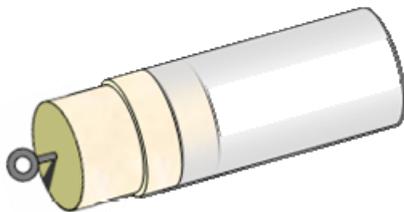


FIGURA 3.19: Secció de càrrega útil acabada.

Per la base de la secció de càrrega útil, tallem quatre cercles de fusta de balsa de 7 mil·límetres. Un que tingui el mateix diàmetre que el cos i dos cercles que tinguin el mateix diàmetre que l'interior del cos. Enganxem els dos cercles, un sobreposat a l'altre, que tenen el mateix diàmetre que l'interior del cos, llavors enganxem el cercle que té el mateix diàmetre que el cos i per acabar, enganxem el cercle que té el mateix diàmetre que l'interior de la secció de càrrega útil, de manera que tots queden centrats.

Enganxem amb cola de contacte la base que hem construït, pel costat té el mateix diàmetre que l'interior del tub de secció de càrrega útil. A l'altre costat de la base, cargolem la baga.

Construïm el con amb la mateixa tècnica que s'indica en la "Construcció d'un model de coet bàsic". Però rebaixarem el diàmetre d'aquest ajustant-ho al diàmetre de l'interior del tub de la secció de càrrega útil.

Llavors encaixem el con a l'extrem del tub de la secció de càrrega útil. Per fixar el con, utilitzarem cinta adhesiva.

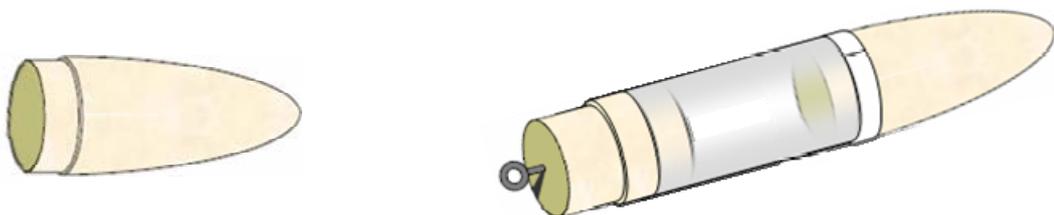


FIGURA 3.20: Secció de càrrega útil unida al con.

D'aquesta manera, la secció quedarà fixada al con i quan vulguem canviar la càrrega útil, només caldrà treure la cinta adhesiva, posar la càrrega nova, i llavors tornar a fixar el con amb una cinta adhesiva nova.

Finalment, confeccionarem el sistema de recuperació, de la mateixa manera que la hem esmentada a la "construcció d'un model de coet bàsic", i fixarem la secció de càrrega útil, juntament amb la cinta de goma elàstica i el cos del model.



FIGURA 3.21: Secció de càrrega útil unida amb la goma elàstica al cos del coet.

3.4. CONSTRUCCIÓ D'UN MODEL DE COET DE DOS FASES.

Per poder vèncer a l'atracció de la gravetat, els coets orbitals han d'accelerar progressivament i guanyar altura ràpidament a una velocitat mínima d'11 Km/s, que és una velocitat d'escapament de l'atracció terrestre. La forma més efectiva d'aconseguir-ho és formant varies fases, de manera que el coet es va deslliurant del pes de les primeres etapes a mida que va esgotant el combustible. En els models de coet de fases o per etapes seqüencials s'aconsegueix el mateix efecte, però el seu objectiu no és posar en orbita cap càrrega sinó guanyar en competicions d'altura.

Consisteixen en models dotats de varies seccions de propulsió i estan especialment dissenyats per arribar a dades superiors als mil metres d'altura, arribant alguns fins i tot als tres mil metres.



FIGURA 3.22: Models de coets de varies fases.

En el moment en que el combustible de la primera fase s'ha esgotat, s'encén el propulsor de la següent fase. El coet es desenganxa de l'etapa esgotada i segueix amb el seu ascens. El procés es repeteix fins a consumir l'etapa final.

Les etapes intermèdies que es lliuren del model, cauen sense necessitat de disposar d'un sistema de recuperació amb paracaigudes, ja que aquestes cauen a poca velocitat degut a la resistència de l'aire que ofereix la seva forma i el seu poc pes. Només l'etapa final realitza el descens amb un sistema de recuperació que normalment consisteix en un paracaigudes.

Es poden construir coets de dos, tres i fins a quatre fases. També en el mercat podem trobar models prefabricats de varies fases, tot i que tant la construcció com l'adquisició d'aquests models de coet poden resultar poc rentable, ja que la majoria d'aquests es perden o són irrecuperables. Per aquest motiu, el més recomanable és que el model no disposi de més de dues fases. Aquests coets utilitzen, en les seves etapes inicials i intermèdies motors sense retard per l'ejecció del sistema de recuperació. Així doncs, una fase encén a la següent per la proximitat. Els gasos finals del primer propulsor encenen el següent motor.

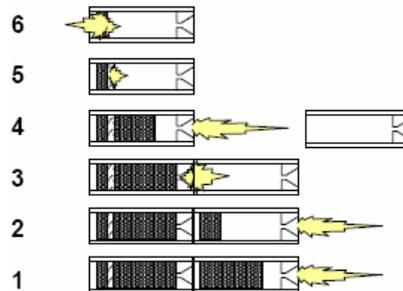


FIGURA 3.24: Etapa en que el primer propulsor encén el segon.

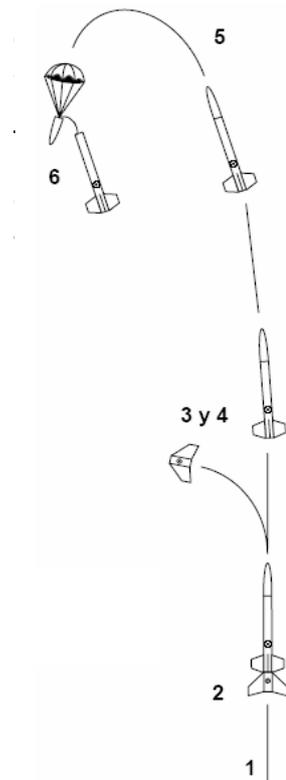


FIGURA 3.23: Diferents etapes de vol d'un model de coet.

El càlcul del centre de gravetat i del centre de pressions dels coets de varies fases es realitza de la mateixa manera que hem explicat anteriorment, amb l'única diferència que tindrem que localitzar molts centres de gravetat i centres de pressions com fases o etapes tingui el model de coet, és a dir, considerant cada conjunt d'etapa final i etapa intermèdia com un sol coet.

Per construir un model de coet de dos fases és necessari disposar d'un material concret. Per tant, necessitarem:

- Un tall de paper.
- Cola de contacte.

- Una bossa gran de plàstic.
- Panell de fusta de balsa d'1 mil·límetre de gruix.
- Panell de fusta de balsa de 7 mil·límetres de gruix.
- Corda fina de cotó o *nylon* i un *cutter*
- Paper de llima de diferent gruix
- Una baga i dos tires d'acer fi de 3x100 mil·límetres.
- 50 centímetres de goma elàstica plana.
- Vàries gomes elàstiques normals.
- Cinta adhesiva.
- Un vernís tapa porus i pintura per aeromodels.

Comencem per la construcció de la primer etapa elevadora. Per això, construirem un suport pel motor, ja explicat anteriorment a la "construcció d'un model de coet bàsic" però restant 3 centímetres de longitud. Hem de tenir en compte que per aquesta etapa utilitzarem un motor amb retard de zero segons. Aquests motors estan designats per encendre la següent etapa durant el vol.

Una vegada haguem construït el suport pel motor, construirem la secció impulsora amb dos planxes de fusta de balsa d'1 mil·límetre les quals, les seves dimensions siguin, per un costat la longitud de la circumferència de les anelles del suport pel motor, i per un altre costat, la longitud del suport pel motor però amb 3 centímetres més.

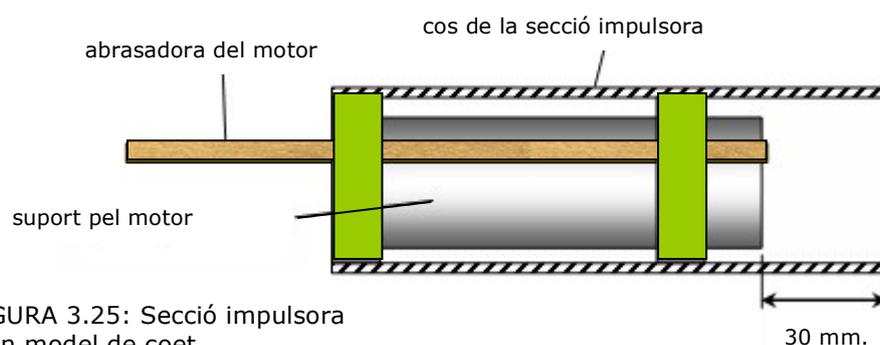


FIGURA 3.25: Secció impulsora d'un model de coet.

Mullem les dos planxes de fusta de balsa i les enrotllem molt a poc a poc al voltant d'un motlle o tub que tingui un diàmetre igual al del suport pel motor. Les sostenim amb unes gomes elàstiques per que no s'obrin i les deixem eixugar.

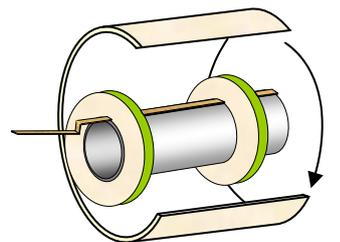


FIGURA 3.26: Secció impulsora reforçada amb dues planxes.

Una vegada estiguin seques, traurem les gomes i el motlle de les taules. Agafem una de les planxes i enganxem amb cola de contacte el suport del motor a un dels extrems i tanquem el tub del cos al voltant d'ell, tallem la fusta que ens sobri i

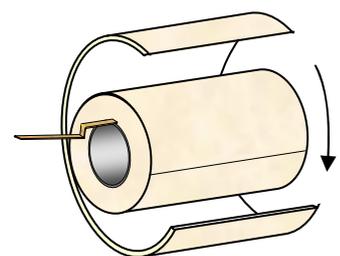


FIGURA 3.27: Aletes col·locades a la secció impulsora.

enganxem les vores. Reforcem amb una altra planxa de fusta amb el mateix procés.

Construïm les aletes per aquesta secció, de la mateixa manera que ho hem explicat a la "construcció d'un model de coet bàsic", i les enganxem amb una cola de contacte al cos.

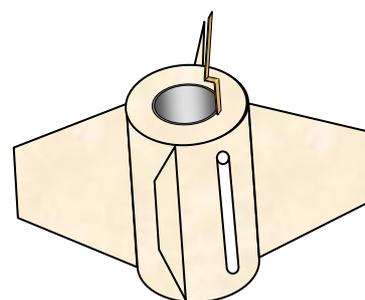


FIGURA 3.28: Aletes col·locades a la secció impulsora.

Ara construïm un altre suport pel motor de l'última fase. Seguirem els passos esmentats a la "construcció d'un model de coet bàsic" per fer un tub que allotjarà el motor, i tallarem quatre anelles de fusta de balsa de 7 mil·límetres. Tots aquests hauran de tenir el mateix diàmetre exterior que l'interior del cos del model, i el diàmetre del forat interior de cada anella igual al diàmetre del tub que allotjarà el motor. Realitzarem els rebaixos a l'interior de les anelles per passar l'abrasadora de subjecció del motor.



FIGURA 3.29: Anelles de fusta amb un petit rebaix per passar l'abrasadora.

L'abrasadora pel motor de l'última fase, serà en aquest cas una mica més curta que l'abrasadora de l'etapa impulsora, de manera que tingui la mateixa longitud que el motor que utilitzarem, amb un centímetre més. Doblaurem 5 mil·límetres un dels extrems.



FIGURA 3.30: L'abrasadora del motor i la representació de la seva longitud respecte el motor.

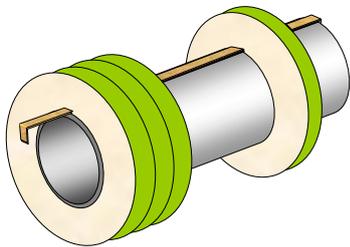


FIGURA 3.31: Anelles unides a la secció impulsora juntament amb l'abrasadora del motor.

Enganxarem tres anelles juntes, de manera que quedin ben centrades. Finalment enganxarem les anelles amb el tub que allotjarà el motor i l'abrasadora. Provem d'introduir el motor en el tub, marcant sobre l'abrasadora el lloc on haurem de doblegar els 5 mil·límetres.

Ara construïm el cos del model, seguint els mateixos passos que hem esmentat en la "construcció d'un model de coet bàsic", però en aquest cas, ajustarem i enganxarem el tub del cos a l'altura de la tercera anella de subjecció.

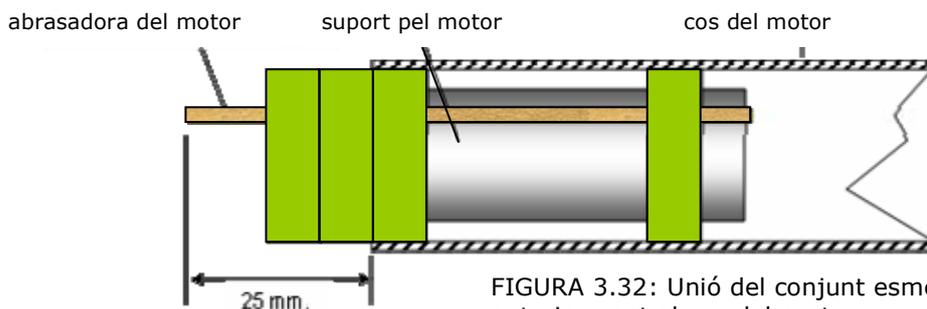


FIGURA 3.32: Unió del conjunt esmentat anteriorment al cos del coet.

Construirem les aletes d'aquesta fase i les enganxarem on es troba el motor, i construirem l'abrasadora per la guia de la plataforma de llançament fent un tub amb paper, de manera que llisqui suaument per la guia. Enganxarem l'abrasadora per la guia en el cos del model.

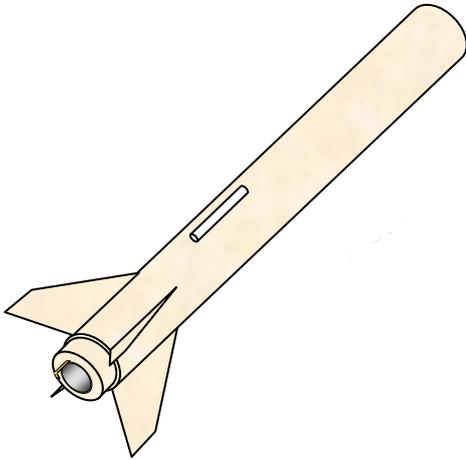


FIGURA 3.33: Cos del coet amb les aletes i l'abrasadora.

Construïm el con de la mateixa manera que hem tractat a la "construcció d'un model de coet bàsic" o també com a la "Construcció d'un model de coet amb càrrega útil".

Finalment, construirem el sistema de recuperació que serà un paracaigudes. Lligarem les cordes del paracaigudes a la baga del con, i la corda de goma elàstica al con i a l'interior del cos del model. S'ha de confeccionar el paracaigudes amb una superfície condicionada a les condicions donades en els conceptes bàsics sobre un descens amb paracaigudes per conèixer l'àrea mínima que ha de tenir el paracaigudes.



FIGURA 3.34: Con d'un coet de dos fases bàsic.

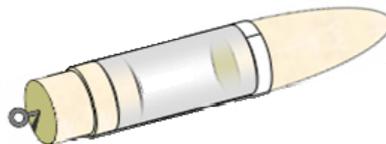


FIGURA 3.35: Con d'un coet de dos fases amb secció de càrrega útil.

FIGURA 3.36: Coet de dos fases bàsic.

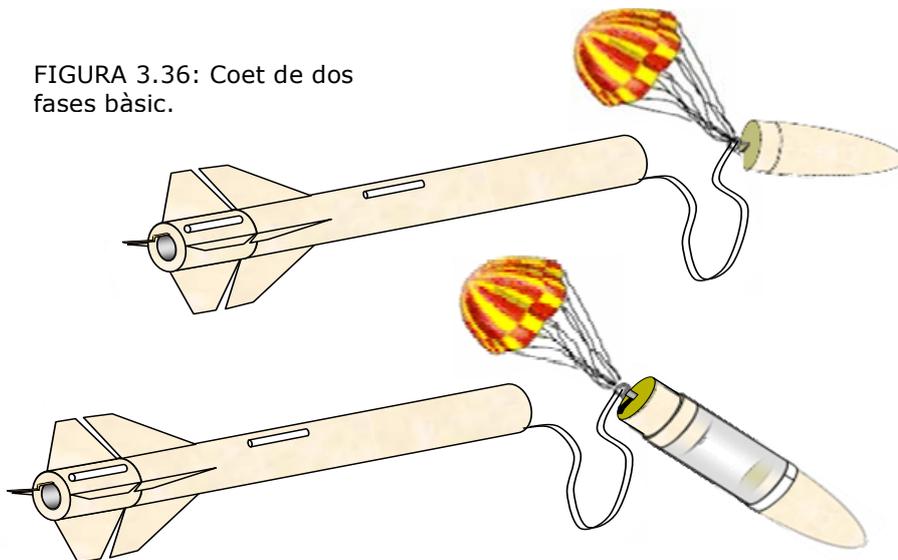


FIGURA 3.37: Coet de dos fases amb secció de càrrega útil.

3.5. CONSTRUCCIÓ D'UN PARACAIGUDES POLIGONAL.

Per conèixer les dimensions més adequades que ha de tenir el nostre paracaigudes, de forma que en funció del pes del model, aquest realitzi el descens a una velocitat segura.

3.5.1. Paracaigudes hexagonal.

Per construir un paracaigudes hexagonal, la manera més fàcil consisteix en tallar un quadrat amb el material que utilitzarem pel paracaigudes. Tot seguit plegarem aquest quadrat de la següent forma:

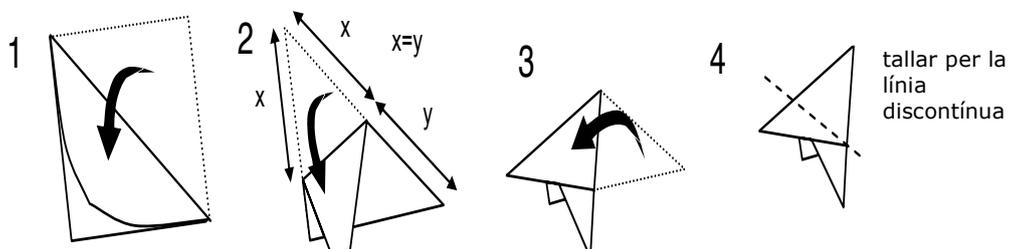


FIGURA 3.38: Construcció d'un paracaigudes hexagonal.

3.5.2. Paracaigudes Octogonal.

Per construir un paracaigudes octogonal, la manera més senzilla consisteix en retallar un quadrat amb el material que volem utilitzar pel paracaigudes. Finalment plegarem aquest quadrat de la següent forma:

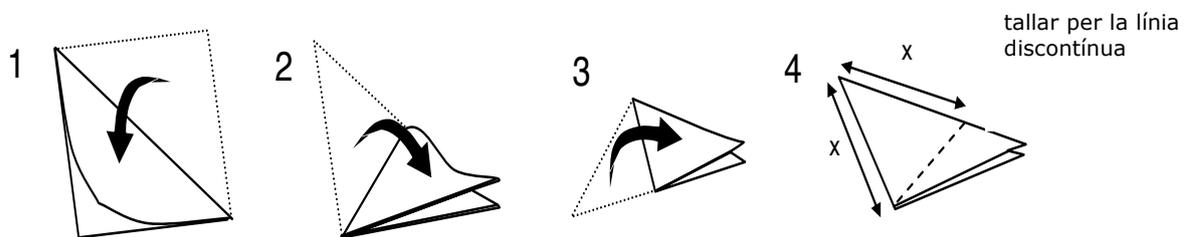
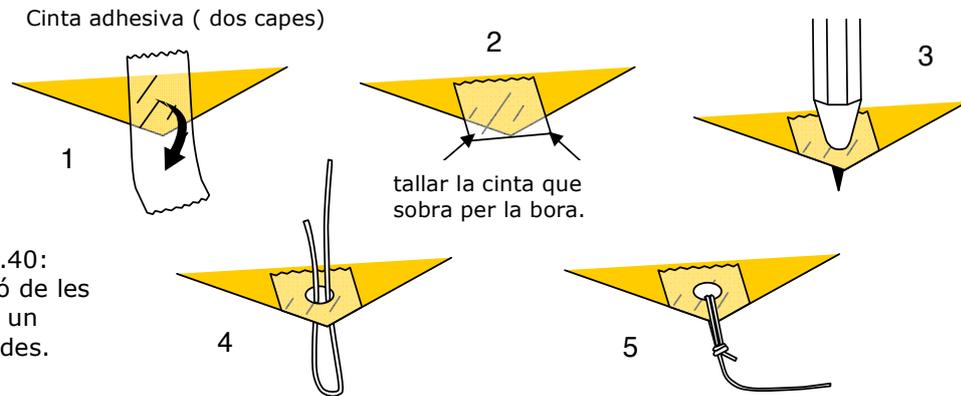


FIGURA 3.39: Construcció d'un paracaigudes octogonal.

3.5.3. Forma de posar les cordes.

Per posar les cordes en un paracaigudes petit, només cal seguir els següents passos:



3.6. CONSTRUCCIÓ D'UN PARACAIGUDES SEMI-ELIPSOIDAL.

3.6.1. Introducció.

Com hem dit anteriorment, és possible que la forma més efectiva per un paracaigudes sigui la d'un pavelló hemisfèric. I que l'eficàcia aerodinàmica d'un paracaigudes depengui bàsicament de la seva forma.

El paracaigudes tenen un efecte significatiu sobre el coeficient de fricció. La diferència més significativa entre el coeficient de fricció d'un paracaigudes semi-hemisfèric pla i el d'un paracaigudes hemisfèric, radica principalment sobre l'àrea total que cobreix el pavelló. A primera vista, un pavelló semi-hemisfèric pla pot semblar que tingui menys tela que el tipus hemisfèric per obtenir la mateixa eficàcia aerodinàmica, tot i així És just el contrari. És una consideració important a tenir en compte pels models de coet, on la massa i el volum han de reduir-se al mínim.

Els paracaigudes hemisfèrics es construeixen amb diferents tipus de tela. La permeabilitat del teixit que s'utilitzi en la construcció, és a dir, la densitat de fils utilitzats per la fabricació de la tela, influeix en el flux de l'aire que passa a través del pavelló del paracaigudes. Tot i que normalment la porositat d'una tela no influeix massa en el coeficient de fricció, sempre que la velocitat de caiguda lliure en el moment d'obrir-se el paracaigudes no sigui excessivament alta.

El coeficient de fricció d'un paracaigudes depèn de la velocitat de caiguda en el moment de desplegar-se. A major velocitat, menor és el coeficient de fricció, ja que la tensió de la càrrega sobre les cordes afecta la forma del paracaigudes en desplegar-se, reduint l'àrea del pavelló i reduint per tant l'eficàcia aerodinàmica de paracaigudes.

L'àrea d'inflat, i la forma del pavelló, depenen de la longitud de les cordes (L) i el diàmetre del pavelló (D). Com més gran sigui la longitud de les cordes, serà major el coeficient de fricció i viceversa. Aquest efecte és més pronunciat quan la relació L/D és menor a 0.5, però és menys significativa quan la relació L/D és major a 1.

3.6.2. Disseny del paracaigudes semi-el·lipsoïdal.

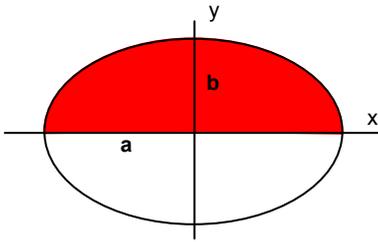


FIGURA 3.41: Forma d'un paracaigudes semi-el·lipsoïdal.

El disseny presenta una forma del pavelló molt semblant a la d'un hemisferi. Es tracta d'un pavelló semi-el·lipsoïdal dissenyat per Richard Nakka, que és completament diferent al dels paracaigudes semi-hemisfèrics plans que depenen de la longitud de les cordes per formar un pavelló semblant al d'un hemisferi. Essencialment, aquest paracaigudes semi-el·lipsoïdal proporciona el mateix coeficient de fricció que un paracaigudes hemisfèric.

3.6.3. Materials necessaris.

- Corda de *nylon* de 1,27 mil·límetres de grossària.
- Tela 100% *nylon* de dos colors.
- Paper de seda.
- Cinta de *nylon* d'1 centímetre d'amplada.
- Fil i una màquina de cosir o una agulla.

El paracaigudes estarà compost de dotze segments o panells que tallarem individualment amb tela de seda de diferents colors. El model de tall dels segments ha sigut calculat perquè en cosir-los els uns amb els altres, el nostre paracaigudes tingui una forma semi-el·líptica.

Primer de tot copiarem el model de tall en el paper amb les mides indicades. Farem un model per cada segment, de manera que al tallar la tela deixarem un marge de 2 centímetres a cada lateral. Aquest marge ja està inclòs en el dibuix del model.

El següent pas és tallar dotze talls de tela de *nylon* de la mateixa mida que els models, sis de color vermell i sis de color blanc. Seguidament

fixarem cada model a cada tall de tela mitjançant agulles i tallarem la tela per la vora del model.

Una vegada que hem tallat els dotze segments, cosirem a màquina totes les vores de cada un.

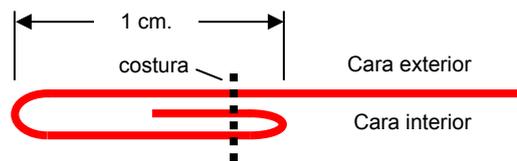


FIGURA 3.42: Mètode de costura per al paracaigudes.

Aquest pas serveix per que les vores de cada segment no s'esfilagarsin quan es cusin entre sí, els uns amb els altres. A més a més, es reforça la unió entre els segments i es reparteix millor la tensió entre les costures.

Cada segment ens ha de quedar de la següent manera:



FIGURA 3.43: Segment del paracaigudes cosit.

Ara tallarem sis trossos de cinta de *nylon* d'uns 90 centímetres de longitud que serviran de reforç entre els segments, i cosirem entre sí tots els segments sobre les tires de cinta.

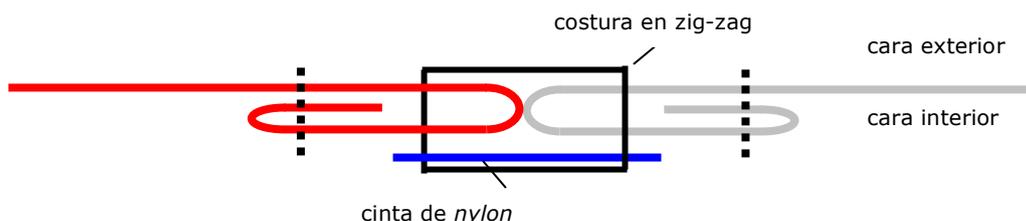


FIGURA 3.44: Segment del paracaigudes juntament cosits amb les cintes de *nylon* com a reforç.

En cosir les vores de cada segment, en l'extrem que va cap a la punta de cada un d'ells, ens haurà quedat una vora de 2 centímetres de costura. Així que haurem de tenir-ho present quan comencem a cosir els segments entre sí, tenint en compte de deixar 7 centímetres de separació entre els extrems oposats de cada segment perquè es tanqui en un cercle central.

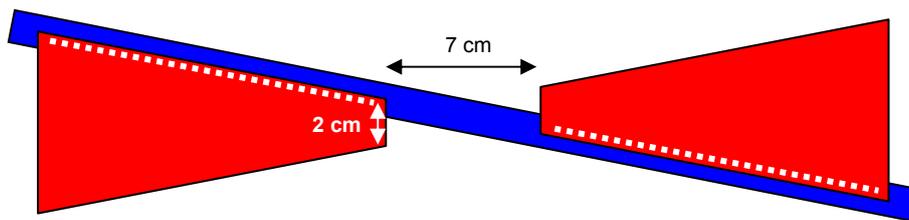


FIGURA 3.45: Distància que haurem de deixar per cosir tots els segments respecte els oposats.



FIGURA 3.46: Discs per cobrir l'orifici central del pavelló.

Una vegada cosits tots els segments entre sí, prepararem dos cercles de tela per cobrir el cercle central del pavelló, de 8 centímetres de diàmetre.

Igual que hem fet amb cada segment, cosirem les vores de cada cercle per evitar que s'esfilagarsi el *nylon*.

Ara cosirem ambdós cercles, un per la part superior i l'altre per la part inferior, al pavelló del paracaigudes que hem format en unir tots els segments, de manera que queden centrats en l'orifici central del pavelló.

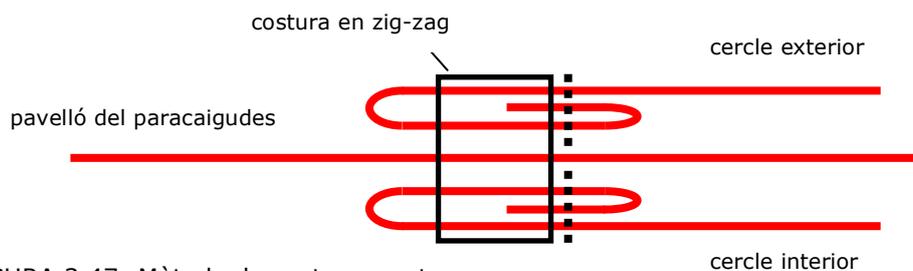


FIGURA 3.47: Mètode de costura per tancar els orificis centrals amb els dos discs.

Finalment tallarem dotze cordes de *nylon* de 80 centímetres de longitud cada una, i les cosirem als extrems de les cintes.



FIGURA 3.48: Paracaigudes acabat.
(Fotografia originada per Richard Nakka.)

3.7. GEOMETRIA DE PARACAIGUDES SEMI-HEMISFÈRICS PLANS.

La forma més efectiva per un paracaigudes és la d'un hemisferi. Aquesta era la forma que tenien els paracaigudes utilitzats en els programes especials que depositaven amb èxit les càrregues útils a l'oceà per finalment desplegar els operatius necessaris de recuperació en el mar. Tot i que els paracaigudes hemisfèrics funcionen molt bé, poden ser difícils de fabricar, doncs la forma que tenen és tridimensional. La fabricació d'una forma hemisfèrica requereix que el modelista talli talls de material en formes de segments, els quals units formen un hemisferi.

Afortunadament, aquests paracaigudes no són necessaris en la majoria de projectes del modelista espacial. De fet, els paracaigudes disponibles habitualment són fabricats amb un estàndard bidimensional (pla), amb figures geomètriques com cercles, hexàgons o octògons. Quan les dimensions d'aquests estan en relació al pes del model realitzen un bon treball, aproximadament-se força al d'un paracaigudes hemisfèric. El més important és que aquests paracaigudes, per la seva naturalesa plana, són fàcils de manipular pel modelista. El paracaigudes pla és el que utilitzen avui en dia gairebé tots els modelistes com a sistema de recuperació.

Ara mostrarem la solució per poder calcular el diàmetre del paracaigudes suficient per proporcionar l'àrea mínima necessària pel nostre model. Aquesta solució serveix per paracaigudes circulars, hexagonals o octogonals, o per qualsevol tipus de paracaigudes amb forma de polígon regular.

La velocitat de descens dependrà de l'àrea del paracaigudes; una vegada que sapiguem l'àrea mínima necessària, saber la geometria ens ajudarà a saber el diàmetre que necessitem pel nostre paracaigudes.

L'àrea mínima necessària d'un paracaigudes, baixa amb una velocitat de descens segura en funció de la massa total del model, ve donada per la fórmula següent:

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

On:

g: És l'acceleració de la gravetat terrestre, que és de 9.81 m/s^2 .

m: És la massa de tot el conjunt: paracaigudes, coet i motor gastat (kg).

ρ : És la densitat de l'aire per sota dels 1000 metres, que és de $1,225 \text{ kg/m}^3$.

C_d : És el coeficient de fricció del paracaigudes en funció de la seva forma. Té un valor aproximadament de 0.75 per un paracaigudes de forma semi-hemisfèrica plana.

v: És la velocitat de descens per tot el conjunt que el modelista consideri segura pel seu model. (Entre 3.35 m/s i 4.26 m/s).

Amb aquesta equació i una bona calculadora, el modelista pot conèixer fàcilment l'àrea mínima requerida del paracaigudes per un model en concret. Per determinar la mida (diàmetre), tenim que generar una expressió que relacioni l'àrea del paracaigudes amb la mida i puguem així considerar la forma que triarem pel paracaigudes, i el diàmetre d'aquest determinarà l'àrea de la superfície disponible.

4.- EL LLANÇAMENT.

4.1. PRELIMINARS.

Pel llançament de models de coet en competicions, existeix un reglament internacional i llocs especialment designats a aquesta activitat. Igualment, en algunes comunitats autònomes, existeixen unes normes obligades a complir i basades en la legislació vigent sobre el desenvolupament d'aquesta activitat.

Sempre hem de tenir molt present que el llançament ha de realitzar-se amb les màximes garanties de seguretat, tant per nosaltres mateixos com per les persones alienes.

Buscarem sempre un lloc clar d'obstacles com els arbres, edificis, pals elèctrics, etc. Així doncs, el llançament ha de realitzar-se sempre mitjançant una plataforma de llançament, i la zona seleccionada ha d'estar lliure de vegetació per evitar possibles incendis.

Haurem de tenir una especial cura amb el transport i manipulació dels motors que s'utilitzaran en el lloc de llançament, i vetllarem per un correcte funcionament de tots els equips.

Cada llançament ha d'estar precedit d'una compta regressiva, com a mínim de cinc segons. La realització d'una compta regressiva serveix per avisar a les persones pròximes que el llançament està realitzant-se i perquè l'equip de les estacions de seguiment estiguin alerta i pendents del vol.

4.2. EQUIPAMENT BÀSIC.

Per realitzar un bon llançament és necessari disposar d'un equip bàsic de persones i instruments:

- Una plataforma de llançament.
- Un sistema d'encesa elèctrica.
- Una o varies estacions de seguiment.

La plataforma de llançament consisteix en un trípod o banc al que s'ajusta una tapa metàl·lica, i sobre la qual es fixa una guia d'acer amb una determinada longitud amb una base que limita l'abrasadora del model.



FIGURA 4.1: Plataforma de llançament.

El sistema d'encesa elèctrica consisteix en una bateria de 12 v, un interruptor d'encesa, i un cable de 10 m de longitud com a mínim que al seu extrem es situen els contactes per la espoleta elèctrica.



FIGURA 4.2: Sistema d'encesa elèctrica.

Podem disposar d'una o varies estacions de seguiment. L'estació de seguiment consisteix en un trípod sobre el qual es posa un goniòmetre giratori amb una guia pel seguiment del model en el vol.

El goniòmetre bàsicament és un sistema format per un parell de transportadors d'angles: un de vertical que serveix per mesurar el punt més alt en la trajectòria, i un visor per realitzar el seguiment del coet en el vol.

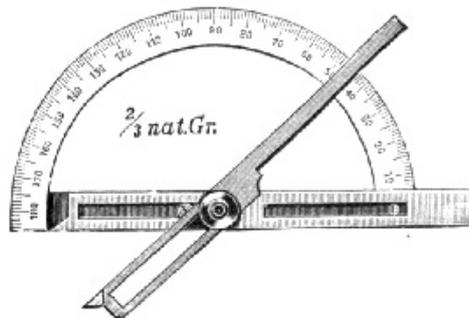


FIGURA 4.3: Il·lustració d'un goniòmetre.

4.3. PREPARACIÓ PEL LLANÇAMENT.

4.3.1. Ubicació de l'estació de seguiment.

Una vegada que s'hagi situat la plataforma de llançament, situarem cada una de les bases de seguiment a una distància (línia de base) de la plataforma diferents. Aquesta distància dependrà principalment de l'altura que arribi a assolir el model.

Taula de Línies de Base:

Altura estimada [m]	Línia de Base [m]
100 - 199	80
200 - 299	150
300 - 399	200

FIGURA 4.4: Distància de la línia de base respecte l'altura que assolirà aproximadament el coet.

4.3.2. Preparació del model de coet.

1. Introduir el motor en el suport destinat a ell.
2. Introduir una bona quantitat de pols de talc o pols de guix a ser possible d'un color destacat, per l'extrem del cos del model a on anirà situat el paracaigudes.
3. Introduir cotó ignífug per a models espacials. Si no disposem de aquest tipus de cotó, podem utilitzar el normal impregnat en pols de talc.
4. Plegar el paracaigudes de manera que entri fàcilment per la obertura del cos, i que pugui desplegar-se sense problemes.
5. Introduir el paracaigudes deixant espai per les cordes i la goma de subjecció.
6. Introduir la goma de subjecció poc a poc sense que s'emboliqui amb l'interior.
7. Col·locar el con al model.

8. Col·locar el model en posició, passant l'abrasadora per la guia de la plataforma de llançament.

Tot seguit donem alguns consells per realitzar aquests procediments.

4.3.3. Forma d'introduir el motor en el seu suport.

Haurem de separar lleument la forquilla de retenció o abrasadora del motor amb un dit, i introduir el motor en el suport fins que quedi col·locat.

Finalment deixarem anar la forquilla que ha de tornar a la seva posició original per retenir el motor pel costat de la tovera.

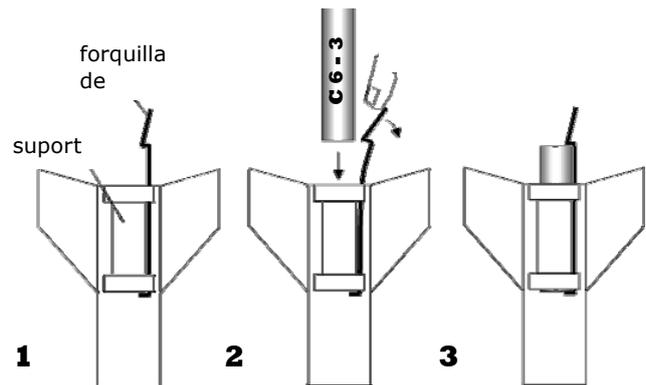


FIGURA 4.5: Introducció del motor en la secció impulsora.

4.3.4. Preparació del Sistema contra-incendis.

Agafem el model obert en posició vertical, i introduïm una bona quantitat de pols de talc per l'extrem del cos del model per on es col·loca el con.

Si utilitzem un talc o un guix d'un color destacat,

es podrà veure amb claredat en la distància, just en el moment d'ejecció del sistema de recuperació.



FIGURA 4.6: Introducció del cotó banyat amb pols de talc a l'interior del model.

Finalment introduïm un tros de cotó ignífug especial per models espacials.

Si no disposem d'aquest tipus de cotó, podem utilitzar el cotó normal impregnat de pols de talc. Procurarem no introduir massa cotó, ni massa pols de talc, ja que podria col·lapsar l'ejecció del sistema de recuperació.

4.3.5. Com introduir el paracaigudes dins del model de coet.

Amb el model dret, agafarem el paracaigudes pel centre, per la part externa, i el subjectarem fort entre la barbata i el pit. Amb les dues mans

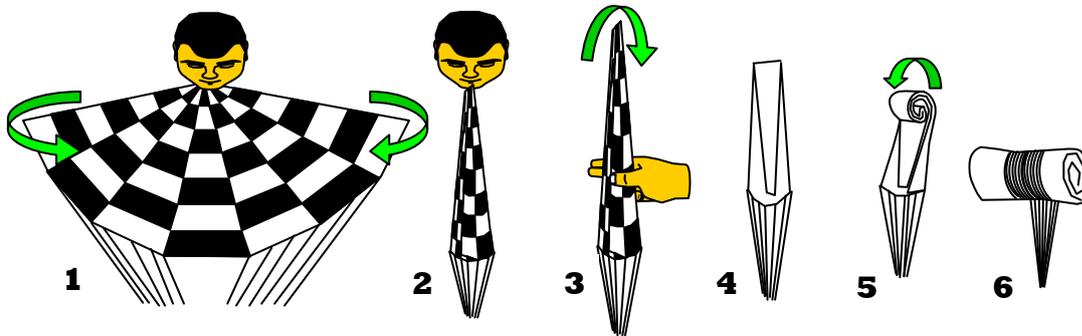


FIGURA 4.7: Plec del paracaigudes per introduir-lo dins del model de coet.

anirem doblegant el paracaigudes pels extrems de les cordes, primer el doblegarem per la meitat, i llavors el seguim doblegant un parell de còps més. Finalment el doblegarem per la meitat, i després anirem enrotllant el paracaigudes sobre ell mateix, incloent també les cordes.

4.3.6. Preparació del Sistema d'encesa.

1. Muntar el sistema amb la connexió dels cables a la bateria i a la consola de llançament.
2. Estendre el cable des de la base de llançament fins a la plataforma (10 metres aproximadament).
3. Preparar l'espoleta elèctrica i introduir-la per l'obertura de la tovera en el motor.
4. Fixar l'espoleta elèctrica en la tovera del motor amb un petit adhesiu de paper, cinta adhesiva molt fina o un tap de plàstic molt petit que sol venir amb els ignitors, deixant els fils de connexió sempre cap a fora.
5. Situar el model en la plataforma de llançament passant l'abrasadora per la guia.
6. Connectar el sistema d'encesa a l'espoleta.

7. Comprovar que s'encengui la llum de continuïtat elèctrica. Això ens indicarà que el ignitor no està en curtcircuit. En el cas que no hi hagi continuïtat, haurem de substituir l'ignitor per un altre.

En els coets molt petits i amb aletes molt llargues, si l'ignitor no es manté a l'interior del motor, i pel pes del cable d'encesa aquest cau, haurem de provar a recolzar el coet sobre algun suport de manera que l'ignitor quedi atrapat entre el coet i el suport.

4.3.7. Forma de preparar l'espoleta elèctrica.

Existeixen varis tipus d'espoletes elèctriques preparades pel seu muntatge en els motors, i bàsicament es poden adquirir amb els kits dels motors o sinó per separat. Un tipus d'espoleta està formada per dues peces separades, una barra ignitora mal·leable i una resistència.

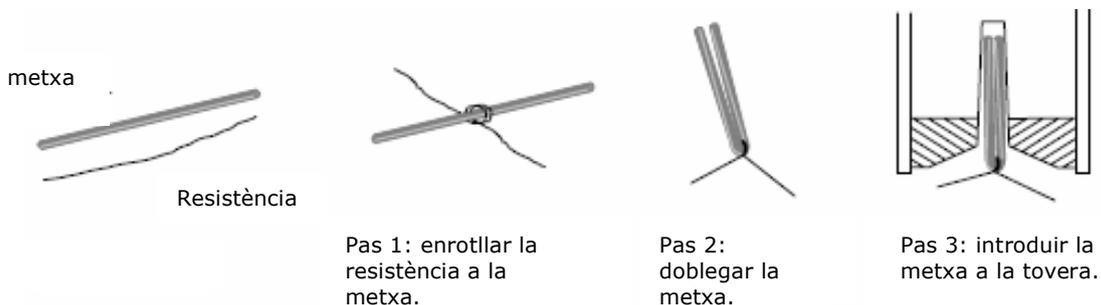


FIGURA 4.8: Introducció d'una espoleta de dues peces.

Algunes altres espoletes més modernes són les formades per l'ignitor i la resistència en una sola peça en forma de tira de coure de doble cara, són els famosos *copperhead*.



FIGURA 4.9: Introducció d'una espoleta d'una peça.

4.3.8. Connexions amb el Sistema d'encesa.



FIGURA 4.10: Tipus de connexions senzilles.

Si el model disposa en la seva fase inicial més d'un motor, la forma de connectar les espoletes elèctriques per encendre varis motors a la vegada, es farà per connexions en paral·lel.

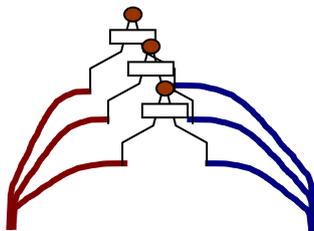


FIGURA 4. 11: Connexions múltiples en paral·lel.

Abans de connectar el sistema d'encesa a l'espoleta, ens hem d'assegurar de que el sistema d'encesa no està activat, és a dir, que no hi hagi corrent elèctric.

4.4. *NORMAS BÁSIQUES DE SEGURETAT.*

És convenient seguir les següents normes bàsiques de seguretat:

- No transporti els models de coet carregats amb els motors.
- Emmagatzemi els motors per separat, en grups de dos o tres com a màxim, i guardi'ls en llocs secs i no exposats a la calor.
- Procuri disposar a prop del lloc de llançament, els mitjans necessaris per una extinció en cas de foc.
- En cas que falli el motor en el moment d'encesa esperi uns minuts abans de revisar l'estat de l'ignitor.
- Si el motor és defectuós, enfonsi'l sota de l'aigua per inutilitzar-lo.
- En cas de cremada per causa d'un accident, tapi la ferida i vagi a un centre d'urgència ràpidament.
- Llanci els models en llocs amplis i aïllats d'obstacles i vegetació.
- Avisi a tothom present que es realitzarà un llançament immediatament, i mantingui un perímetre de seguretat al voltant del lloc de llançament d'uns 10 metres com a mínim.
- Amb vent suau, orienti la guia de la plataforma de llançament, inclinant-la uns graus en direcció contra el vent.
- Mai realitzi llançaments en dies amb molt de vent o amb males condicions meteorològiques.
- Realitzi sempre una contra regressiva de cinc segons abans de llançar el model.
- No connecti l'espoleta al sistema electrònic fins el moment pròxim al llançament i asseguris de que els connectors del sistema elèctric no tenen corrent elèctric quan els col·loqui a l'espoleta.

Si està participant a alguna trobada esportiva, segueixi estrictament les normes i les indicacions que li indiqui el controlador responsable de l'àrea de llançament.

5.- FAIR NOSE CONE PROJECT.

Aquesta serà la part pràctica del Treball de Recerca 2011. La secció consistirà en realitzar tots els procediments que un enginyer professional, ha de dur a terme per crear el seu prototip innovat. En aquest cas ens basarem en un prototip d'un model de coet d'un *kit* de modelisme i realitzarem tots els processos importants que s'han de dur a terme per a la verificació d'un prototip que està en condicions per fer-se servir. Ho farem d'una manera senzilla i comprensible, ja que el nostre model que plasmarem no serà extensament complex com seria el disseny d'un cotxe, però aquest serà l'adequat que s'ha de realitzar abans de fer el disseny, la construcció, el test, la simulació i el llançament del model de coet. A part de dur a terme aquests processos, el projecte es basarà principalment en identificar quin nas de coet és el més aerodinàmic dels quatre que ens venen en el *kit Avion* i, quin serà el més rendible per a un coet. Obtindrem totes aquestes conclusions després d'efectuar els processos de llançament, a partir d'un altímetre que ens plasmarà suficients dades per realitzar gràfiques i unes conclusions finals.

L'objectiu consisteix en aprofundir els nostres coneixements en l'àmbit de l'ofici d'un enginyer i, en especial, l'enginyeria aeronàutica i aeroespacial. També ens informarem en el funcionament de programes informàtics professionals com l'*AutoCAD 2011* i el *Rockism 9*, i els utilitzarem per tenir una base de coneixement d'aquests que ens poden servir molt en el nostre futur alhora d'estudiar una enginyeria.

Per tot aquest estudi es van demanar dos *kits* de coets via internet dels quals el *kit Avion* es va utilitzar per a la construcció del coet i el *kit Vortex*, es va utilitzar la llançadora. Aquests dos kits contenien tríptics informatius que estan plasmats als annexos C.1 i C.2, en els quals també podem trobar-hi les factures de la demanda d'aquests. També es van descarregar els programes professionals esmentats anteriorment via internet i els seus respectius manuals pel funcionament.

5.1. DISSENY.

En aquesta secció intentarem aproximar-nos en el disseny d'un model de coet i la realització d'aquest. Ho farem mitjançant un programa de disseny professional anomenat *AutoCAD 2011*, aquest s'utilitzarà amb un ordinador Mac (de l'empresa Apple Inc.) del qual el seu processador és Macintosh.

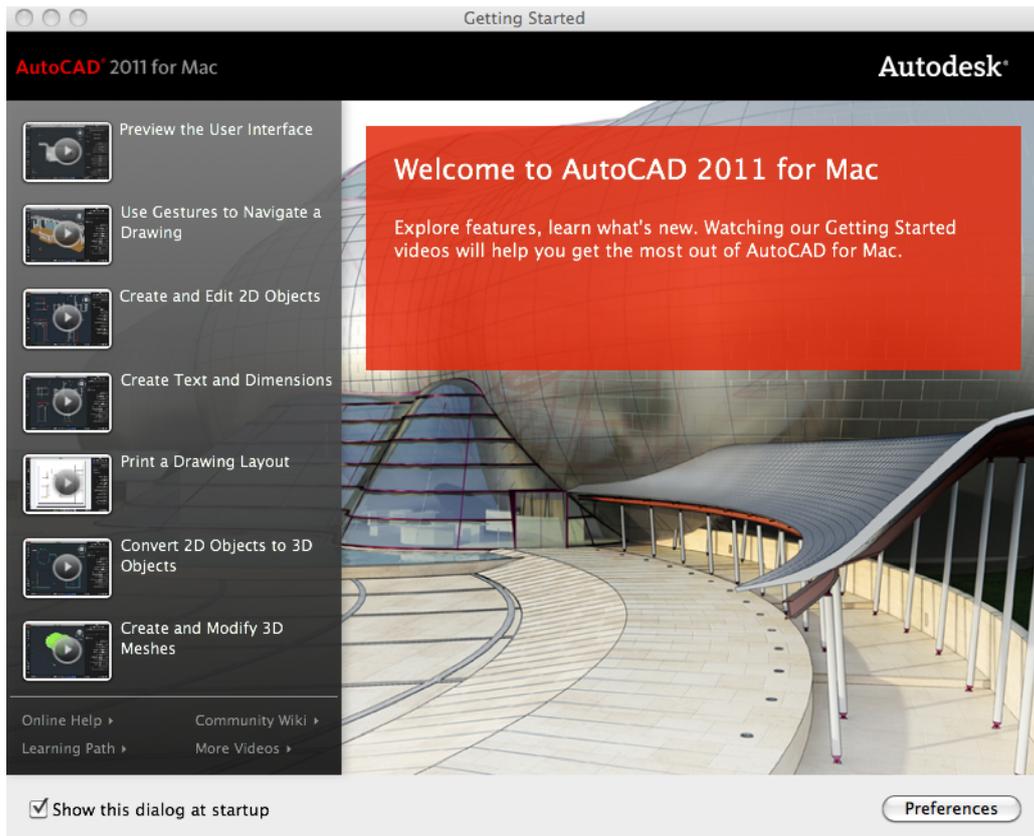


FIGURA 5.1: Inici a l'ordinador de l'AutoCAD 2011.

Amb tot això, el que voldrem mostrar serà les perspectives del model de coet, amb 3D (tres dimensions) i en 2D (dos dimensions).

El que volem aconseguir és dissenyar i, basar-nos en aquest fet pel qual després construirem el model de coet. S'agafarà de model el coet del *kit Avion⁷* pel disseny, és a dir, no plasmarem un coet innovat per nosaltres per manca d'experiència, sinó que a partir del coet esmentat anteriorment en farem el seu disseny.

⁷ Veure annex C.2.

Primer de tot prendrem totes les mides del nostre model de coet per poder així dibuixar totes les parts del nostre model de coet virtual. Haurem de saber totes les mesures per poder utilitzar aquest programa.

En aquesta secció dissenyarem primer de tot el model de coet sense cap nas, mostrant els components del seu interior com és el motor i el seu suport entre d'altres. Plasmarem les dades dibuixant-lo a mida real en el programa⁸. Ens quedaria així:

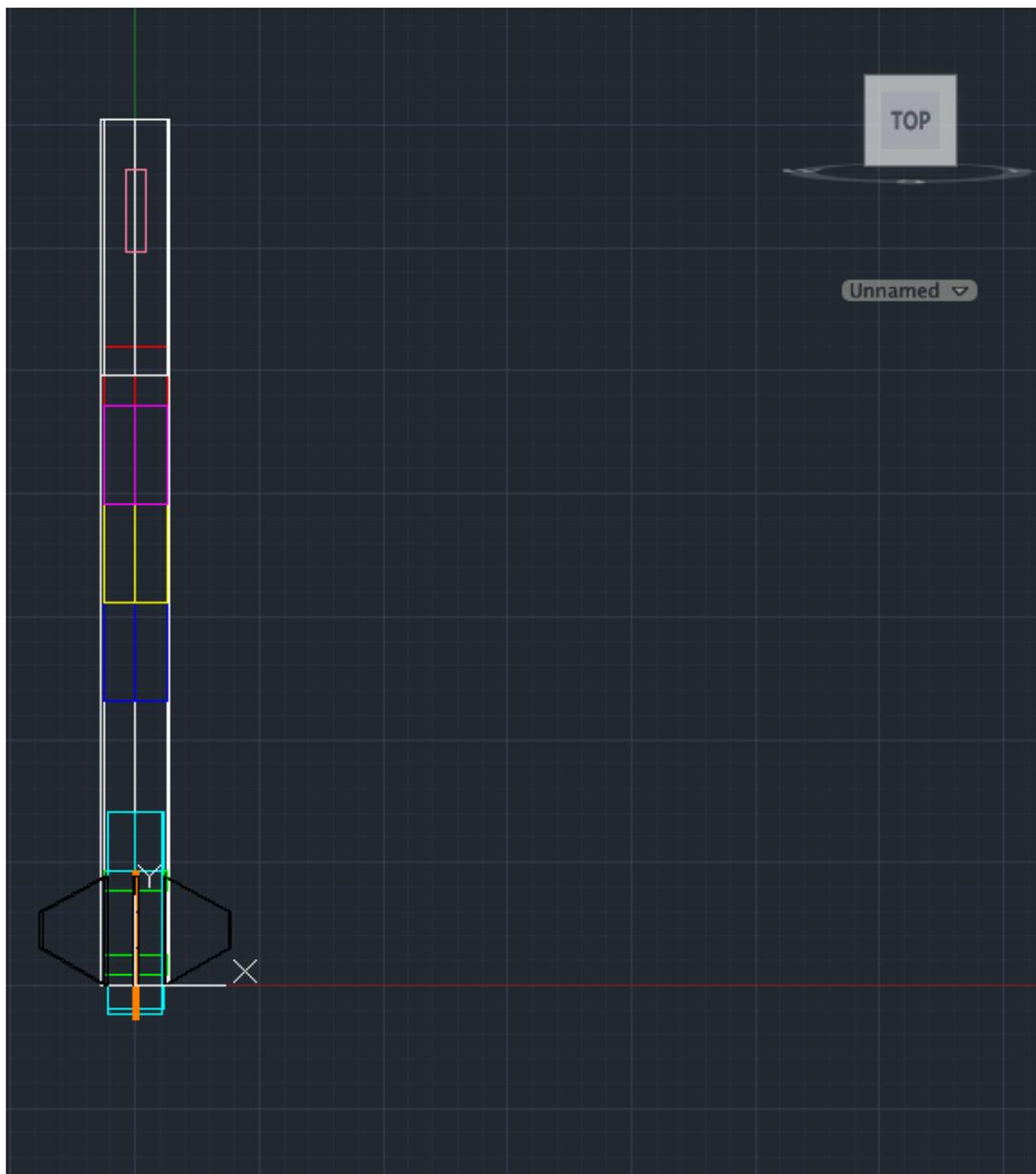


FIGURA 5.2: Vista 2D *Wireframe*, frontal del model de coet sense nas.

⁸ A l'annex E podem trobar els arxius de AutoCAD que contenen els models del coet.

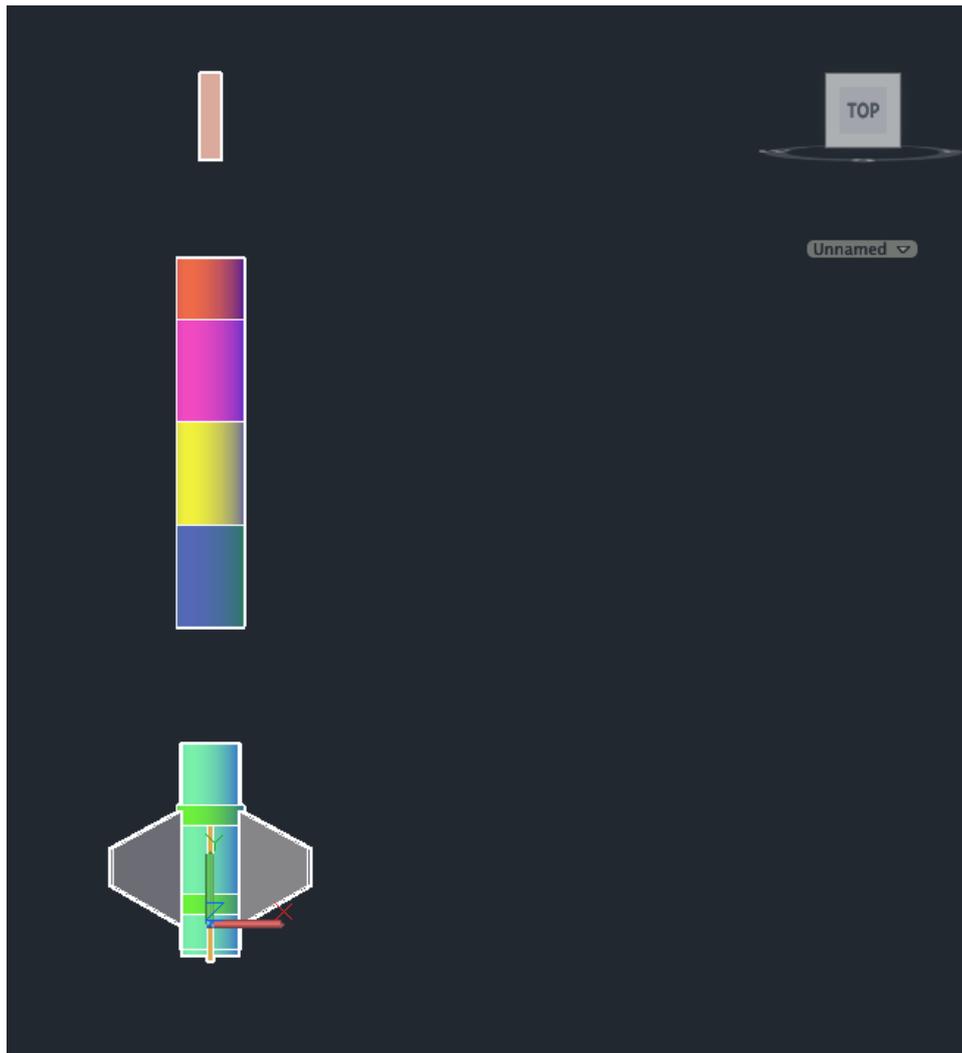


FIGURA 5.3: Vista 3D *Conceptual*, frontal del model de coet sense nas i tub exterior. Es poden veure tots els elements del seu interior.

-  Altímetre.
-  Secció on s'introdueix la meitat del cilindre del cos del con.
-  Secció destinada al paracaigudes del con.
-  Secció destinada al paracaigudes del cos.
-  Secció on es diposita el cotó banyat amb pols de talc.
-  Motor C6-5.
-  Anelles del suport del motor.
-  Abrasadora del motor.
-  Fins del coet.

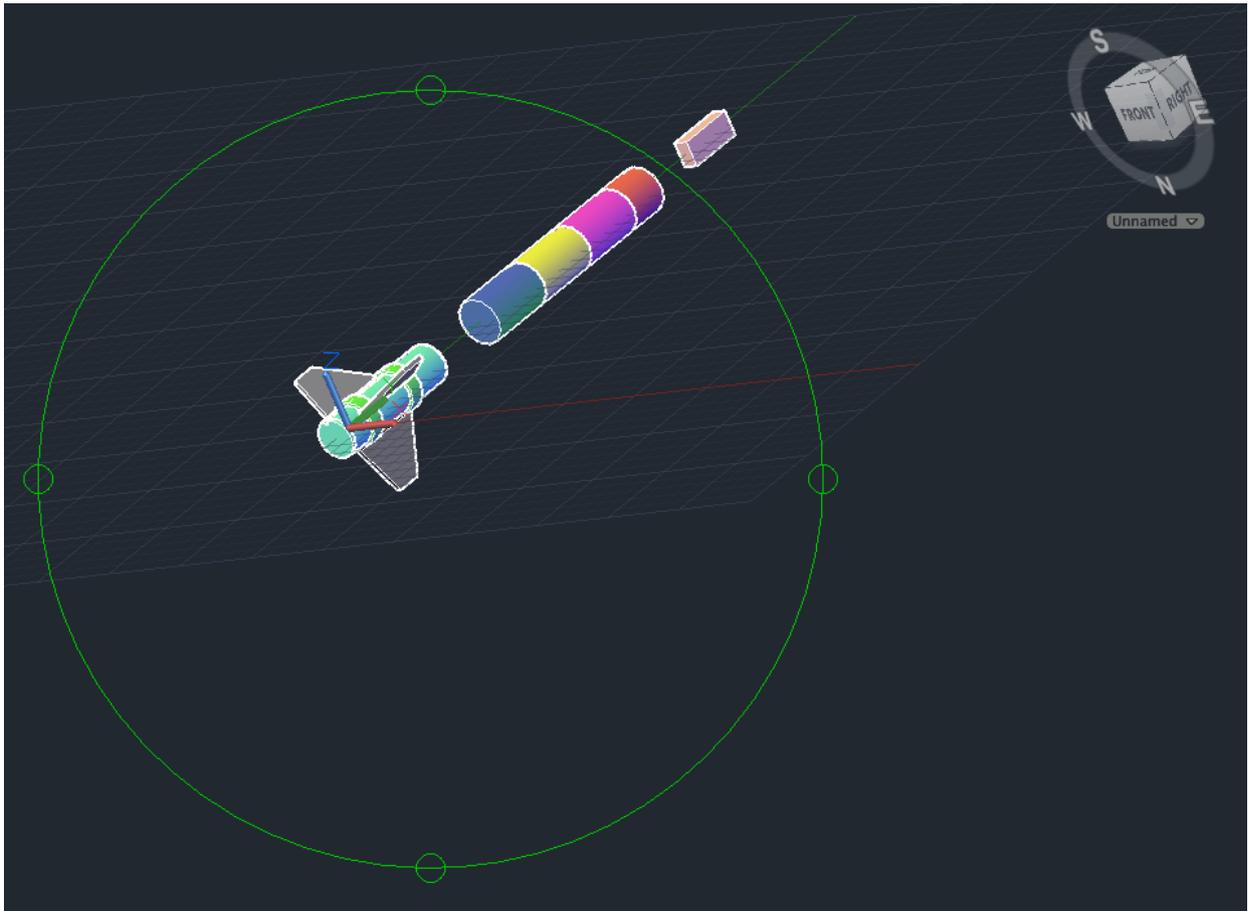


FIGURA 5.4: Vista 3D *Conceptual*, orbital del model de coet sense nas i tub exterior. Es poden veure tots els elements del seu interior.

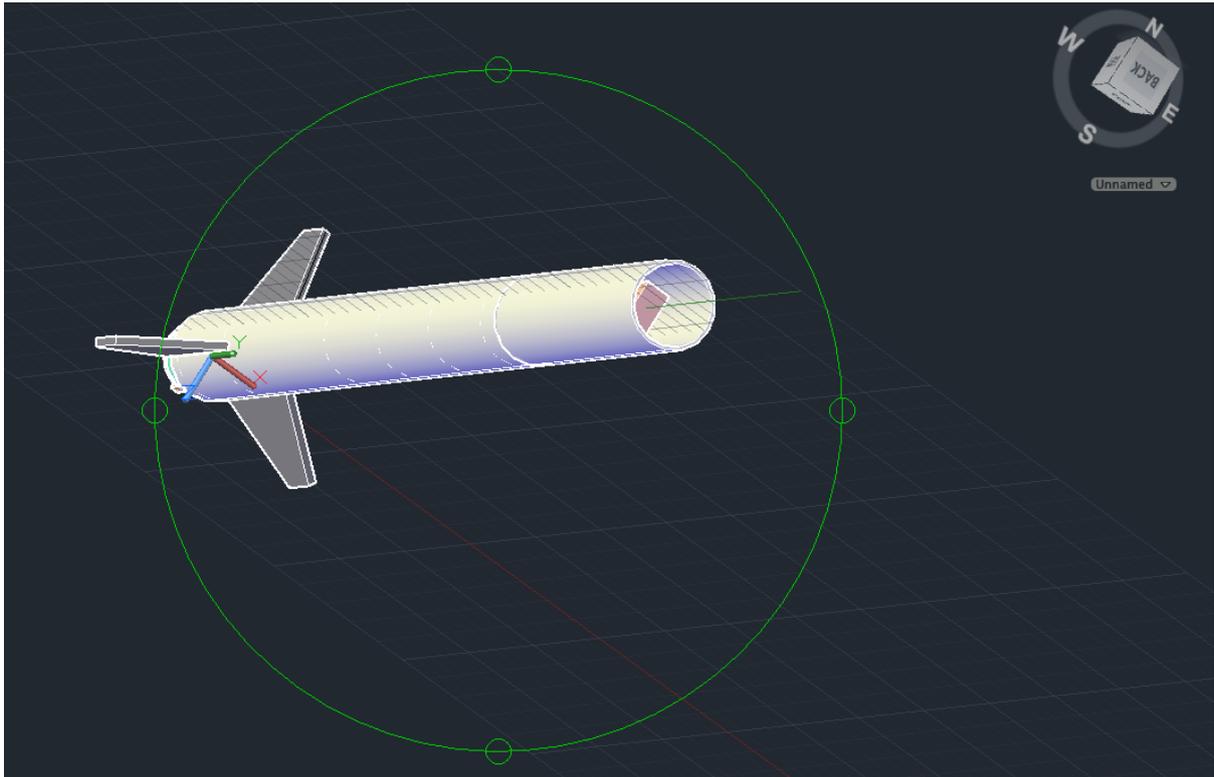


FIGURA 5.5: Vista 3D *Conceptual*, orbital del model de coet sense nas.

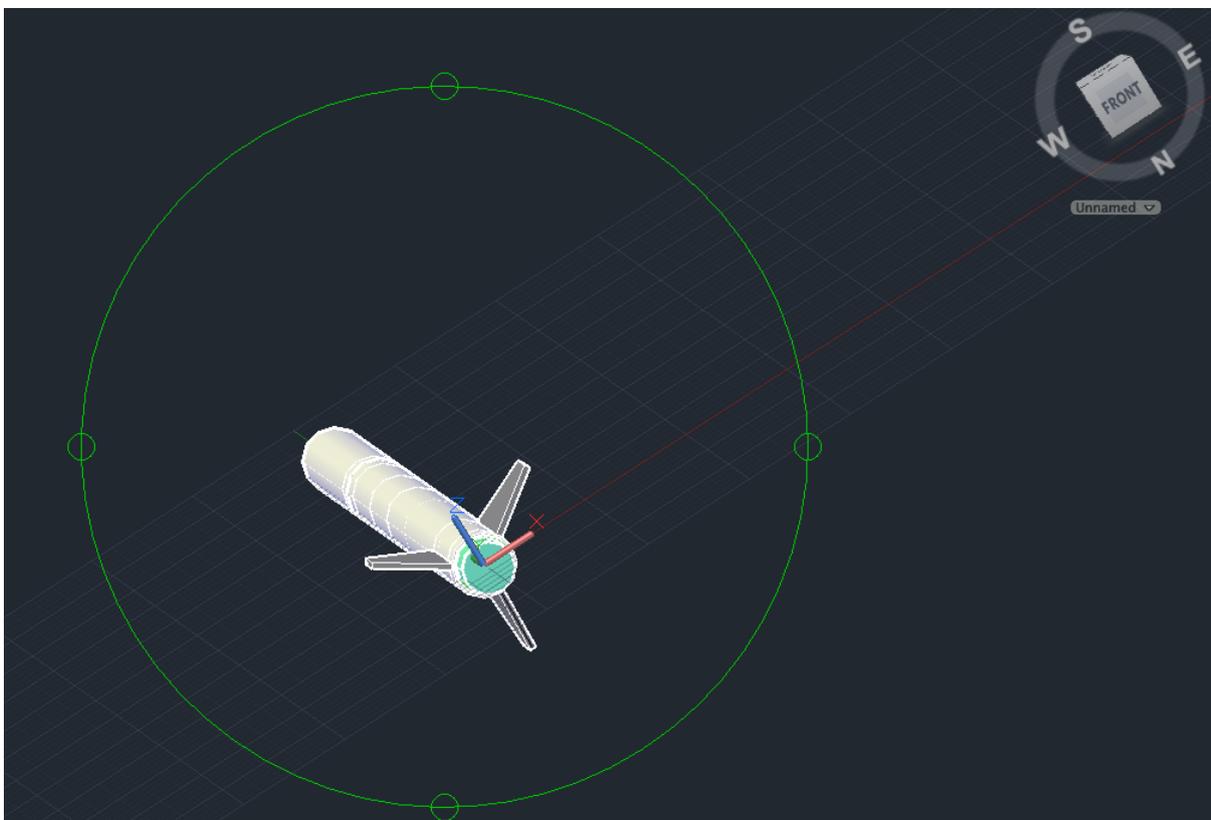


FIGURA 5.6: Vista 3D *Conceptual*, orbital del model de coet sense nas.

Un cop hem realitzat el cos del nostre model de coet, crearem els diferents nassos i els presentarem tots cinc en el nostre coet. Així veurem doncs com quedarà el nostre coet en un futur molt pròxim. Veiem doncs tots els diferents coets en la perspectiva del programa:

Model de coet amb el nas 0.

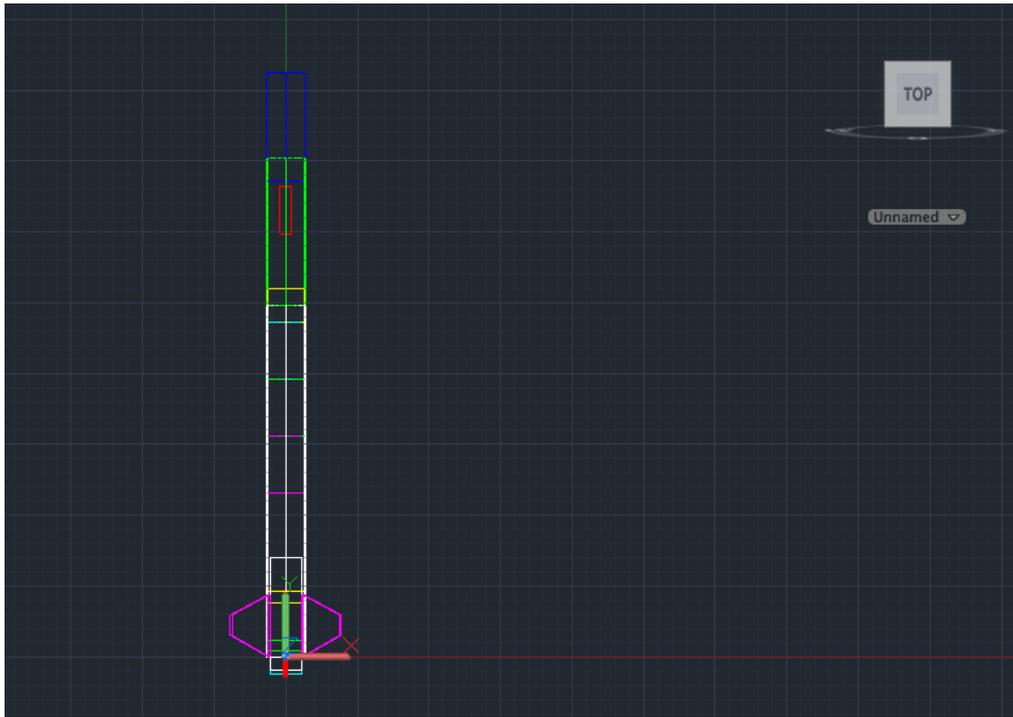


FIGURA 5.7: Vista 3D *Wireframe*, frontal del model de coet amb el nas 0.

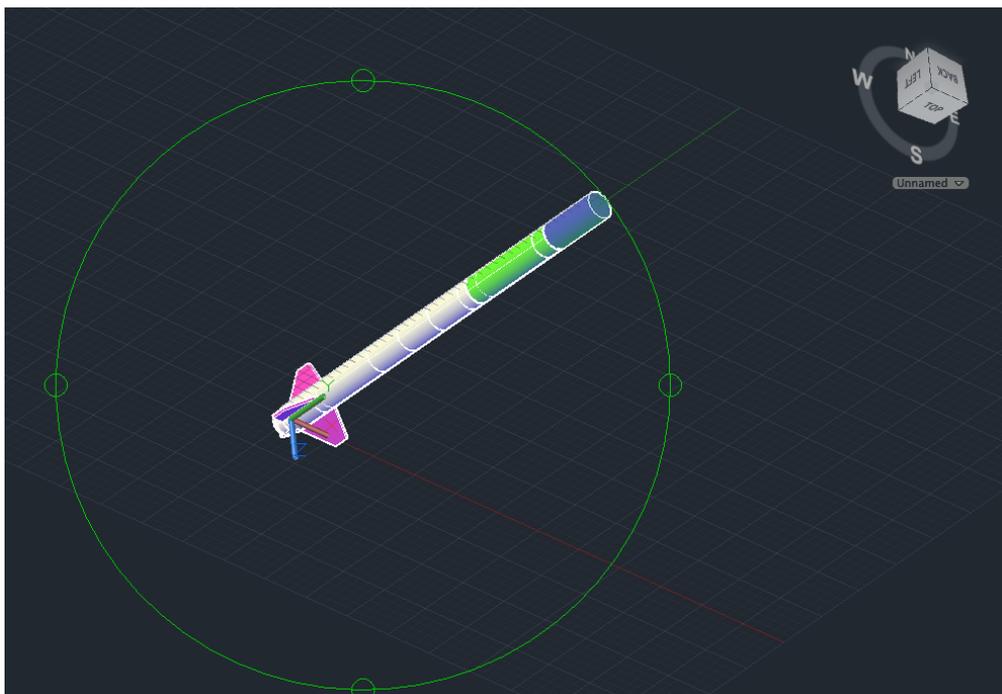


FIGURA 5.8: Vista 3D *Conceptual*, orbital del model de coet amb el nas 0.

Model de coet amb el nas 1.

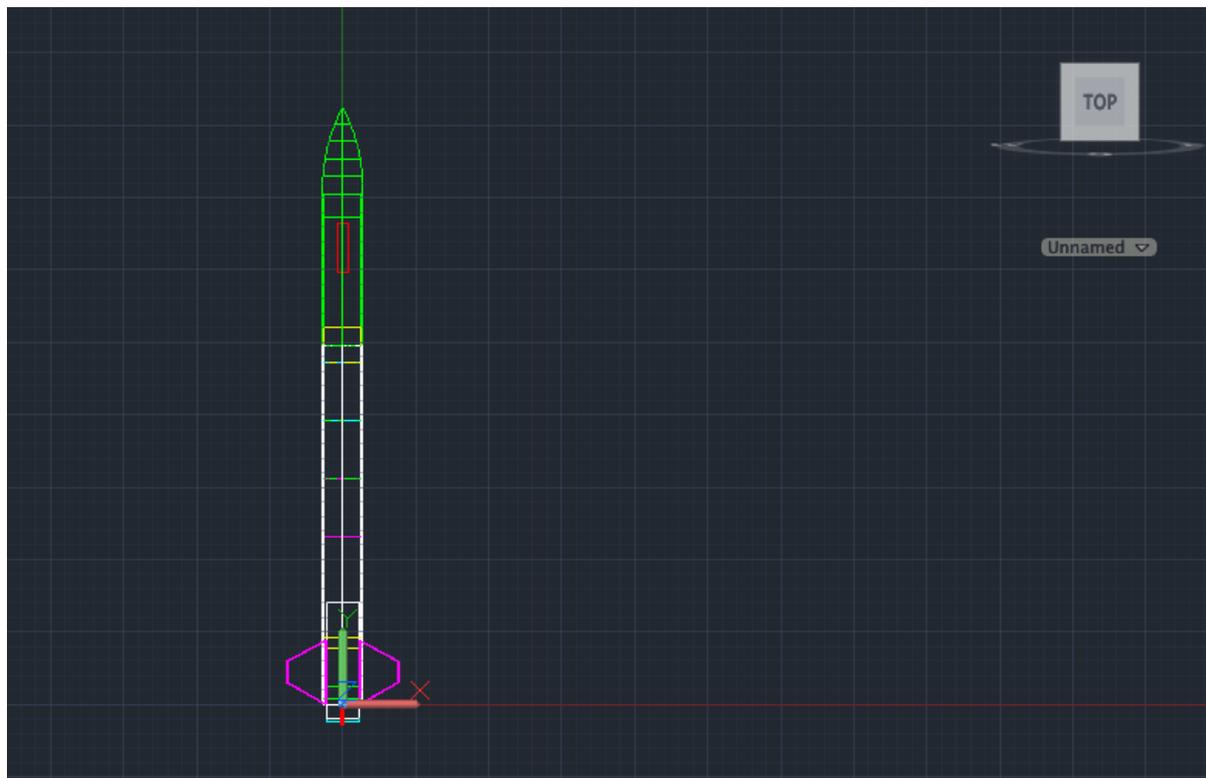


FIGURA 5.9: Vista 3D *Wireframe*, frontal del model de coet amb el nas 1.

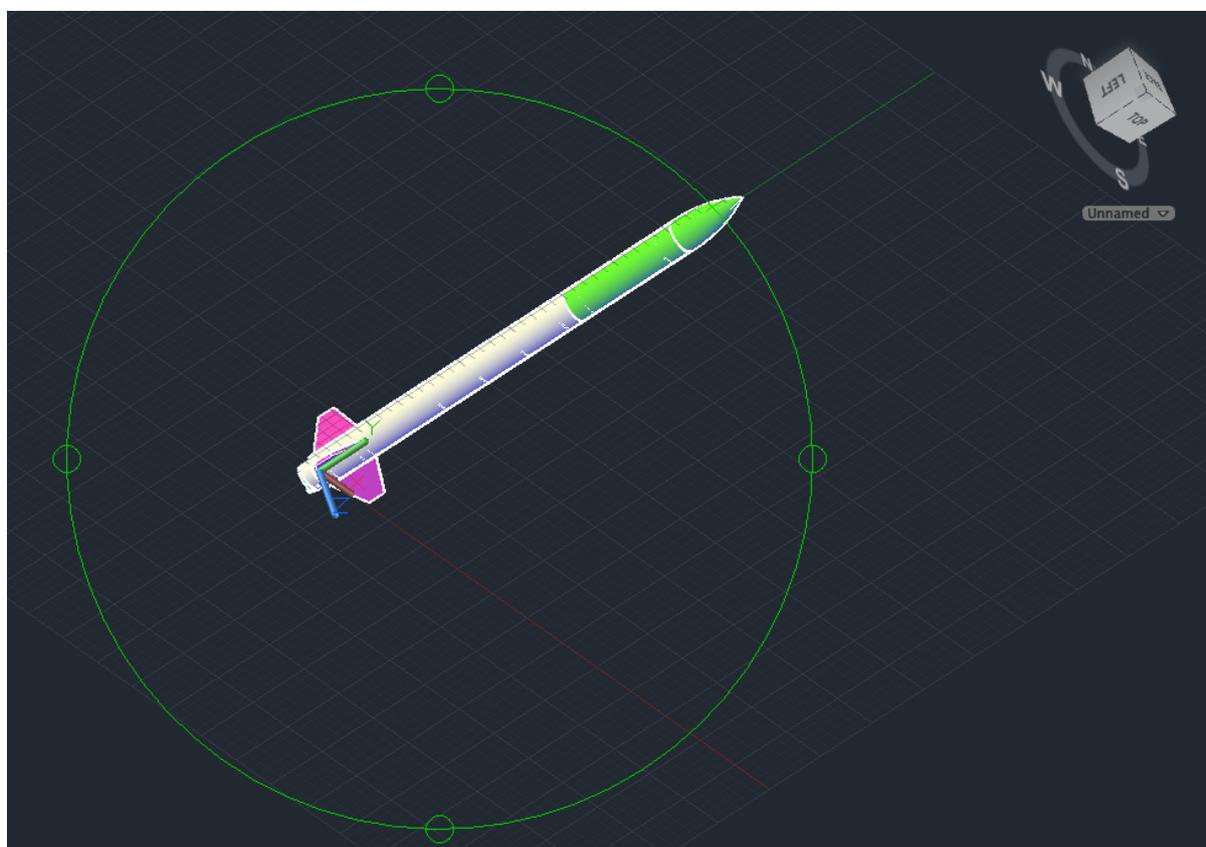


FIGURA 5.10: Vista 3D *Conceptual*, orbital del model de coet amb el nas 1.

Model de coet amb el nas 2.

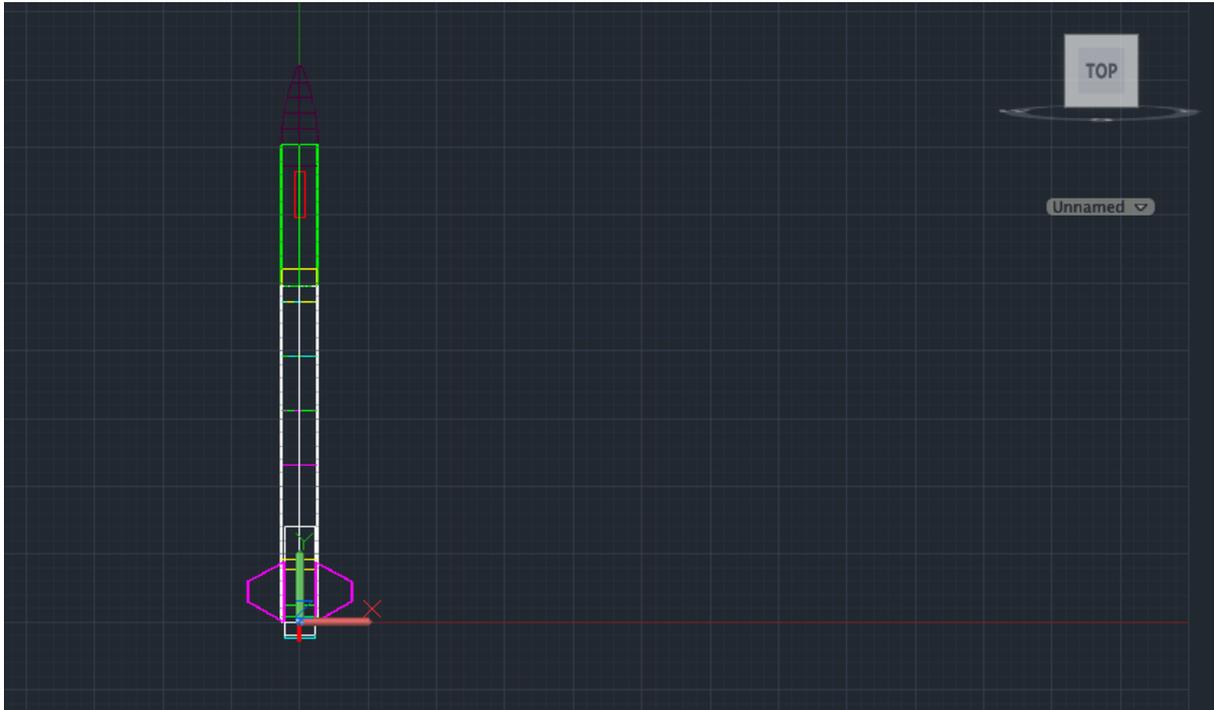


FIGURA 5.11: Vista 3D *Wireframe*, frontal del model de coet amb el nas 2.

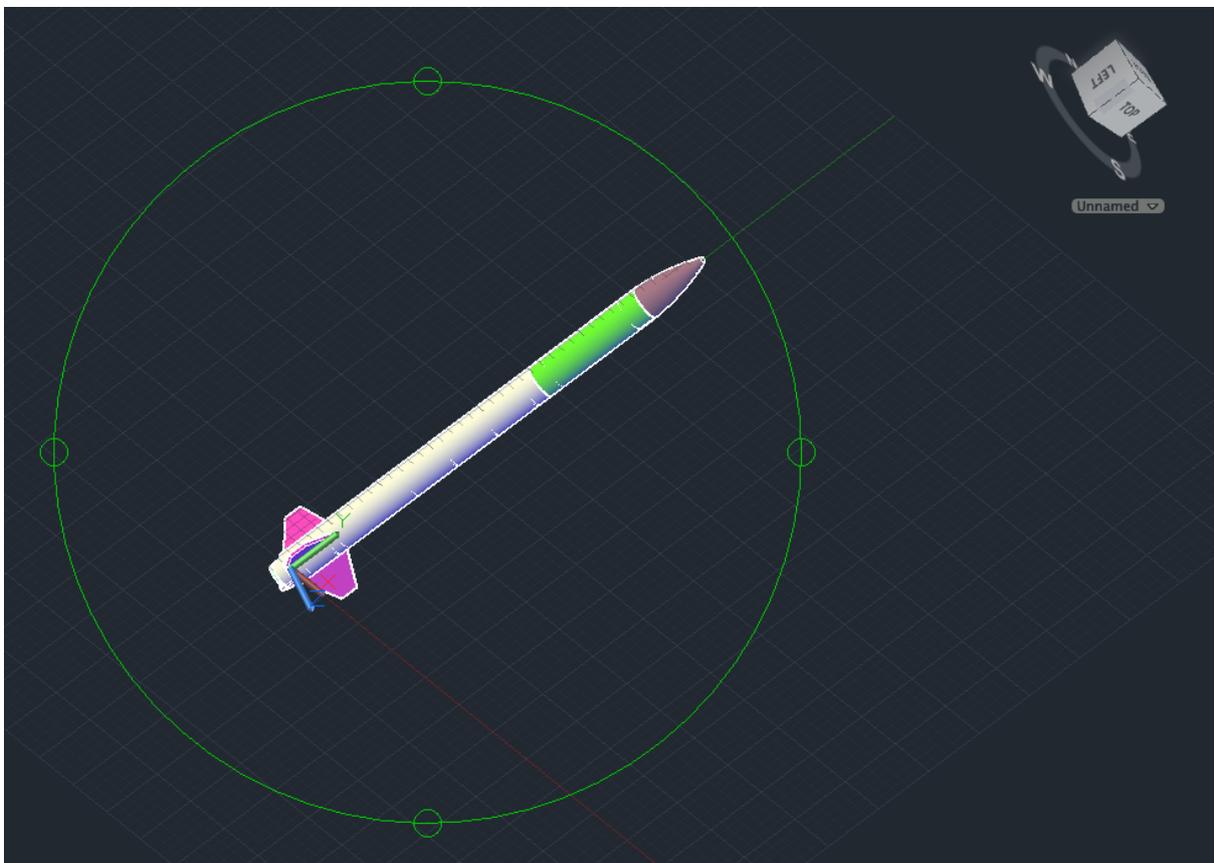


FIGURA 5.12: Vista 3D *Conceptual*, orbital del model de coet amb el nas 2.

Model de coet amb el nas 3.

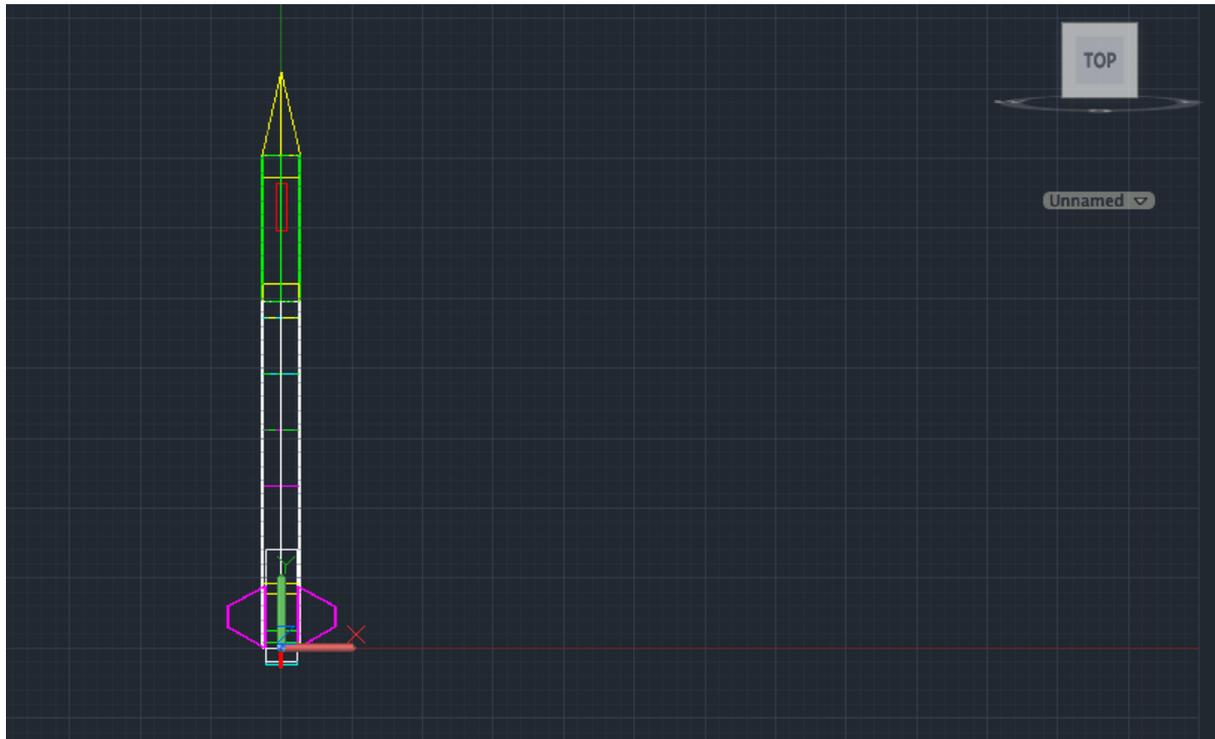


FIGURA 5.13: Vista 3D *Wireframe*, frontal del model de coet amb el nas 3.

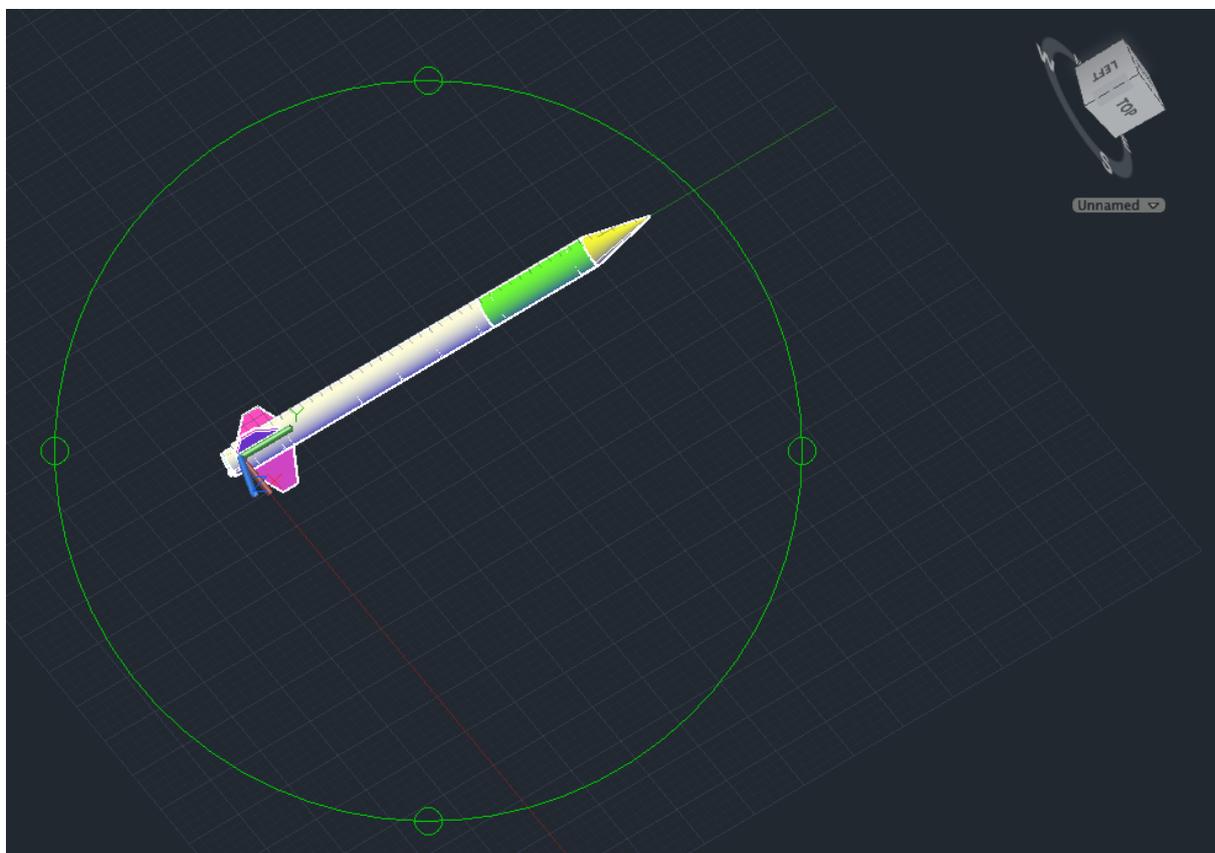


FIGURA 5.14: Vista 3D *Conceptual*, orbital del model de coet amb el nas 3.

Model de coet amb el nas 4.

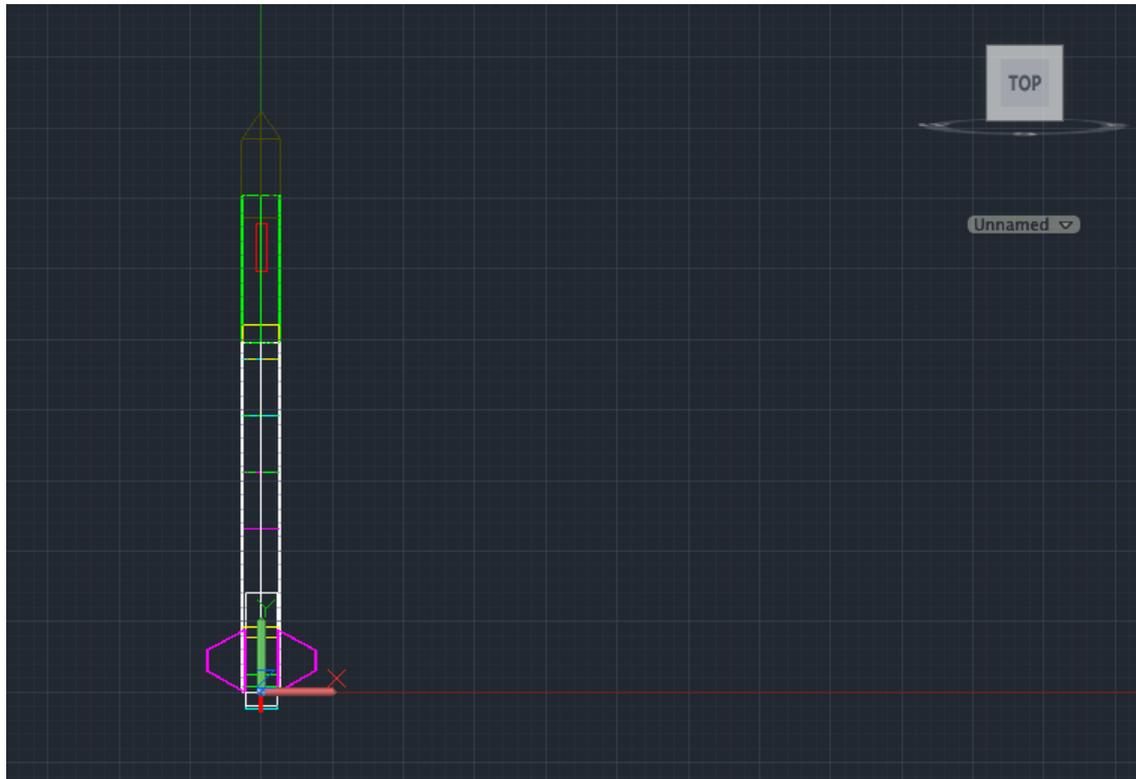


FIGURA 5.15: Vista 3D *Wireframe*, frontal del model de coet amb el nas 4.

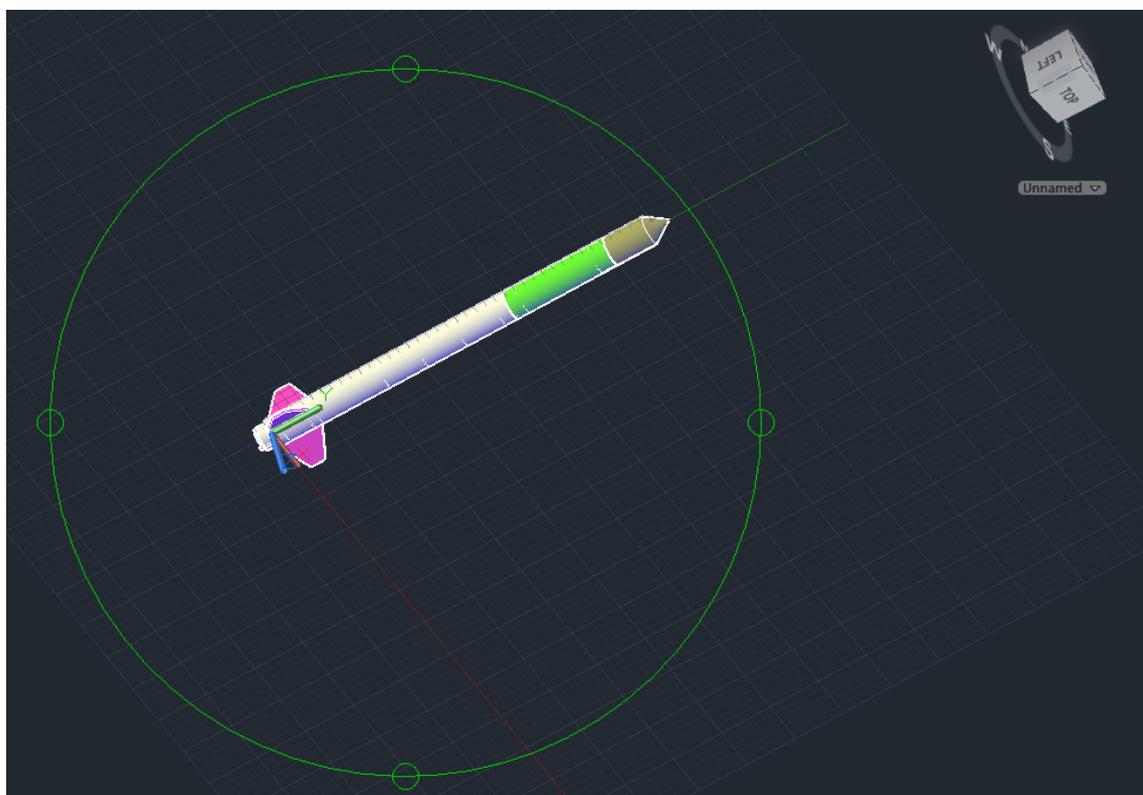


FIGURA 5.16: Vista 3D *Conceptual*, orbital del model de coet amb el nas 4.

5.2. CONSTRUCCIÓ.

En l'apartat anterior hem pogut observar tot el procés de disseny i finalment hem obtingut el resultat que esperàvem, els plànols del nostre projecte de model de coet. Ara toca fer el següent procés.

El procés de construcció és una de les parts més delicades i a vegades, es fa molt complicat a l'hora de realitzar-ho. Pot ser perillós si utilitzem instruments i/o eines en mal estat o de forma inadequada. Per fer-ho haurem de ser conscients que es necessita tenir paciència i alhora, ser "manetes", és a dir, tenir una certa facilitat per fer manualitats d'aquest tipus. En aquest cas, els kits de coet que s'han demanat via internet porten un seguit d'instruccions i no s'han de dur a terme processos molt complicats per a la construcció, és a dir, les peces del coet ja venen construïdes i només s'han d'unir d'una manera molt senzilla.

Abans de tot, obrirem la caixa i col·locarem en una taula les respectives parts del coet que haurem d'utilitzar i les identificarem:

- Nasos cònics.
- Tub (1) de la secció de càrrega útil amb un con i una boga.
- CD-ROM amb l'explicació de construcció senzilla.
- Tub (2) del cos del coet.
- Tríptic de les instruccions del model.
- Paracaigudes.
- Tub (3) del suport del motor.
- Anelles, abrasadora i cordill.
- Fins del model de coet.



FIGURA 5.17: Tots els components del kit Avion.

A part de tot material que prové dels *kits* necessitarem altres eines i objectes com cinta americana, cinta adhesiva, cola *super glue 3*, manta tèrmica d'alumini, cordill ignífug, gomets circulars transparents, maquineta de fer forats, una caixa de claus amb forma de boga i una pistola de silicona.

En la construcció seguirem els passos que es mostren en el tríptic del coet que podem observar a l'annex C.2.

Construcció del suport de motor.

Necessitarem el tub (3), les anelles, l'abrasadora, cinta adhesiva i cola. Primer de tot col·locarem l'abrasadora sobre el tub deixant que la part doblegada sobresurti per un extrem on farà de subjecció en un futur motor i, l'enganxarem rodejant-la amb cinta adhesiva. Seguidament banyarem l'interior de les dues anelles i les col·locarem ràpidament en el tub, deixant aquest per dins de les anelles. Una anella haurà de col·locar-se gairebé a l'extrem del tub i l'altre a 15 mil·límetres de l'extrem per on hem deixat que sobresortís l'abrasadora. Seguidament la deixem assecar i ja tindrem el suport del motor.

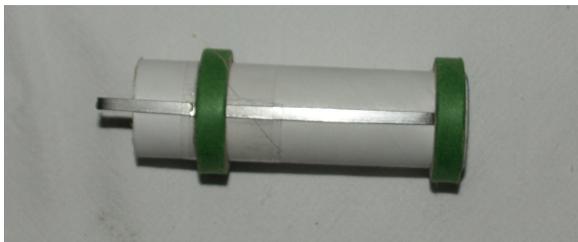


FIGURA 5.18: Suport del motor acabat.



FIGURA 5.19: Costat exterior del suport del motor amb el motor posat.



FIGURA 5.20: Costat interior del suport del motor.

Construcció del cos del coet amb els fins.

Com que ja tenim preparat el suport del motor, l'haurem de banyar amb cola i introduir-lo al tub (2) deixant completament les anelles a l'interior del tub del cos del coet. Per assegurar-nos de la subjecció omplirem els voltants amb silicona mitjançant una pistola. I finalment ens quedarà el cos d'aquesta manera:



FIGURA 5.21: Suport del motor col·locat reforcat amb silicona al cos del coet.

Seguidament agafarem els tres fins i els col·locarem de manera que quedin tocant a l'extrem del tub. Primer els enganxarem amb cola i seguidament envoltarem els fins amb silicona per millorar la subjecció. D'aquesta manera ens quedarà així:

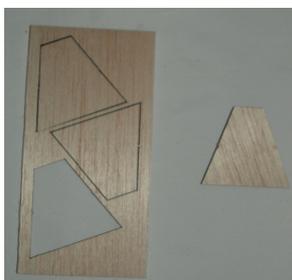


FIGURA 5.22: Plantilla dels fins.



FIGURA 5.23: Fins col·locats amb silicona al cos del coet.

Haurem de fer un petit forat a un lateral del coet a la part superior per introduir-hi el fil que subjectarà el paracaigudes d'aquesta part del coet. Llavors un cop introduïm el fil, haurem de fer un nus i per assegurar-nos, tancarem el nus plasmant al costat del cos del coet amb cinta americana.

Un cop finalitzada aquesta part, haurem d'agafar una palleta i la subjectarem al cos en paral·lel amb cinta americana de manera que, ens servirà per dirigir la direcció del coet amb la guia que es troba a la llançadora.

Construcció del cos del coet amb el nas i la subjecció de l'altímetre.

En aquest procés haurem de banyar amb cola el cilindre de fusta i col·locar-lo en el tub (1) la meitat d'ell, de manera que la part que surti li posarem una baga a la base on hi lligarem el paracaigudes d'aquesta part del coet. Per l'altra banda hi anirem col·locant els diferents tipus de nassos que a cada un li haurem de posar una baga per a la subjecció de l'altímetre. Un cop aquests dos processos estan acabats podrem ajuntar el nas amb el cos del tub (1).



FIGURA 5.24: Tub (1) amb el cilindre de fusta a punt de ser introduït.

Construcció dels paracaigudes.

Haurem d'agafar una manta tèrmica d'alumini i tallar-la amb cercles de manera que seran els paracaigudes. Haurem de prendre un radi adient perquè el descens no sigui ni molt lent ni molt ràpid.

Quan tinguem el cercle farem sis forats als extrems del cercle amb una maquineta de papereria especial. Tots els forats hauran d'estar a la mateixa distància entre ells. En aquests hi haurem de lligar els cordills per obtenir el paracaigudes però per evitar que la fricció d'aquests ens el trenqui, reforçarem els forats amb uns gomets circulars transparents. Un cop hem lligat i emparellat els forats amb tres cordes, aquestes les lligarem en una que anirà subjectada juntament a la baga del tub (1) o, al forat que havíem fet a l'interior del tub (2). De manera que els paracaigudes ens quedaran així:



FIGURA 5.25: Paracaigudes complets desplegats al terra.

Un cop hem realitzat tots aquests processos, haurem finalitzat la nostra construcció i tindrem el nostre model de coet llest per enlairar-se. La construcció acabada i preparada pel llançament ens quedarà mes o menys d'aquesta manera:

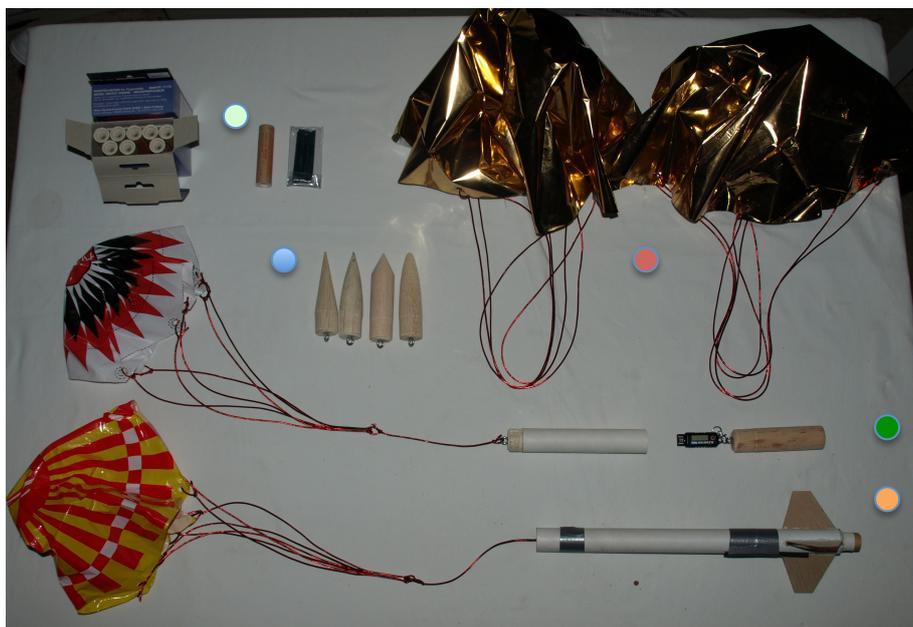


FIGURA 5.26: Model de coet acabat i preparat per al seu llançament.

- Caixa dels motors C6-5 amb un motor i una metxa al costat.
- Nasos cònics amb els claus en forma de baga introduïts.
- Paracaigudes de reserva de manta tèrmica d'alumini.
- Cos del coet del tub (2) amb un nas cònic lligat a l'altímetre per un clau amb forma de baga i al paracaigudes.
- Cos del coet del tub (1) amb els fins i el suport del motor acabats i lligat al paracaigudes.

5.3. TEST.

Aquesta secció consta de fer un seguit de proves al nostre model de coet per validar-lo i poder posar-lo en vol a posteriori. Haurem de sotmetre el prototip a assajos no destructius per assegurar, en cas que passi les proves, que el coet té la integritat, estabilitat, fortalesa necessària per executar el llançament amb la garantia d'èxit.

Cal destacar algunes proves concloents que ens faran validar o no el nostre prototip de model de coet:

1. Càlcul de la resistència longitudinal i transversal en els fins.

Resistència longitudinal: Consisteix en mesurar la resistència mínima a la compressió que pot sotmetre's el nostre model de coet avaluant les unions dels fins al cos.

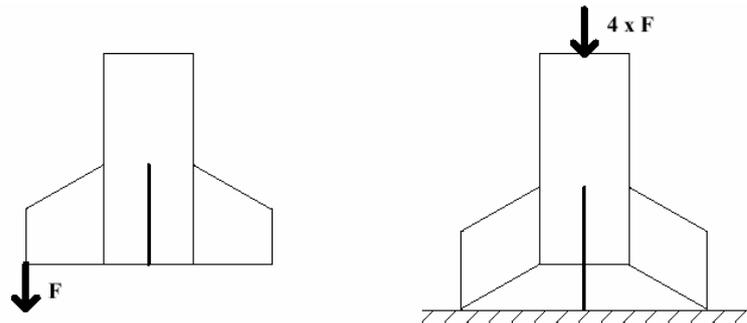


FIGURA 5.27: Model de coet sotmès a una força als seus fins.

Resistència transversal: Consisteix en comprovar que el flexió entre la d i la l no superin el 17%.

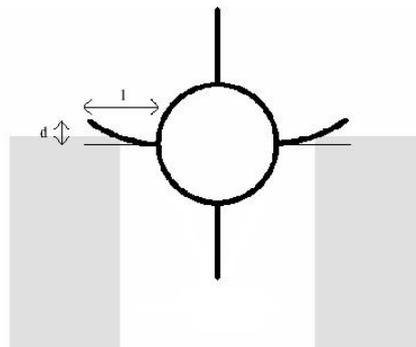


FIGURA 5.28: Model de coet sotmès a una flexió als seus fins.

2. Comprovació de la desviació del cos i posició del centre de gravetat.

Consisteix en realitzar una flexió al cos del nostre model de coet anotant la desviació que es produeix respecte la horitzontal quan s'aplica una força a la vertical. Haurem de comprovar que la desviació entre L i l no és més gran que l'1%.

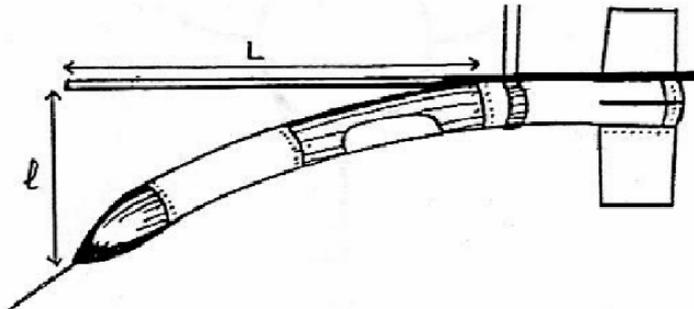


FIGURA 5.29: Model de coet sotmès a una flexió al seu cos.

3. Càlcul de la força longitudinal en el suport del motor.

Consisteix en mesurar la resistència que pot suportar el suport del motor sobre l'empenta d'aquest.

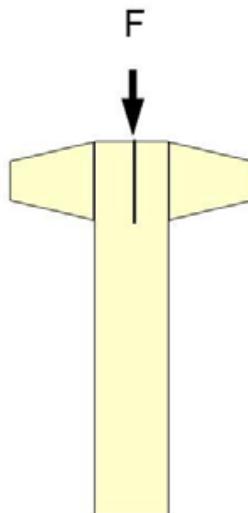


FIGURA 5.30: Suport del motor sotmès a la força produïda per l'impuls d'aquest mateix.

4. Test d'estabilitat en vol del coet.

Per calcular l'estabilitat del nostre model de coet haurem d'agafar una corda d'1.5 metres i lligar-la al centre de gravetat. Per trobar el centre de gravetat haurem d'aguantar el coet per l'extrem de la corda i anar-la movent pel cos fins que hi hagin 90° entre la corda i el cos.

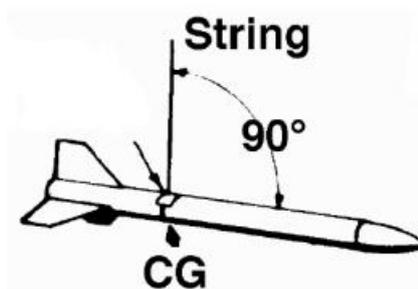


FIGURA 5.31: Model de coet lligat a una corda sobre el seu centre de gravetat



FIGURA 5.32: Model de coet lligat a un punt qualsevol del cos del coet.



FIGURA 5.33: Model de coet lligat al centre de gravetat del coet.

Després haurem de fer-li donar voltes al coet sobre nosaltres mateixos amb la corda i comprovar l'estabilitat del coet. Sabrem que és estable si fa una trajectòria rectilínia i no ondulada.



FIGURA 5.34: Model de coet donant voltes sobre si mateix amb una corda lligada al seu centre de gravetat.

5. Test de recuperació del coet.

Haurem de comprovar que el coet està en condicions per ser llançat. Agafarem el coet i separarem el nas del cos central i comprovarem que estan units un material dur i resistent. També haurem de comprovar que el paracaigudes està llest per ser obert a través de la tapa del motor i, finalment deixar el coet en forma operativa per al llançament.

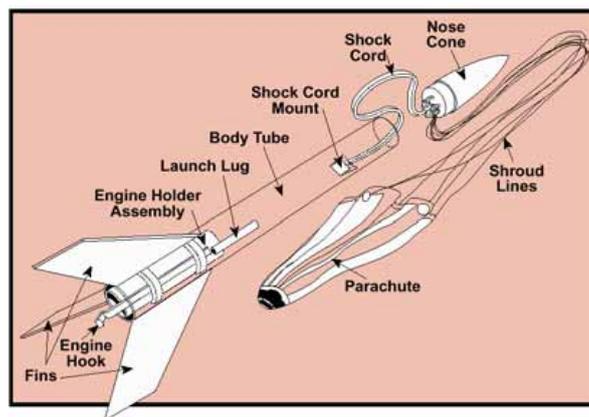


FIGURA 5.35: Model de coet en preparació del llançament.

5.4. SIMULACIÓ.

La simulació d'un mecanisme o vehicle consisteix en estudiar el seu funcionament i predir amb exactitud el seu futur comportament.

Nosaltres en aquesta etapa la realitzarem mitjançant un simulador d'ordinador anomenat *Rocksim 9* que s'utilitzarà a través d'un processador Windows 7.

El procés d'estudi de simulació està dividit en diverses etapes:

1. Definició del sistema.

Consisteix a estudiar el context del problema, mostrar els objectius plantejats, especificar els objectius específics del mode de coet i definir el sistema que es voldrà realitzar.

2. Formulació del model.

Una vegada haguem obtingut els resultats que esperem del model, construirem el model amb el qual s'obtiniran els resultats finals. Haurem de formular i definir totes les variables que formen part del model per així, definir el model de forma completa.

3. Recol·lecció de dades.

S'hauran de definir amb claredat i exactitud les dades que prenguem per obtenir bons resultats.

4. Implementació del model a l'ordinador.

Un cop tenim el model de coet definit haurem de processar-lo a l'ordinador a través del *Rocksim 9*.

5. Verificació.

Consisteix en comprovar i verificar que el model de coet és comporta adequadament i compleix els requisits de disseny, de la manera esperada d'acord amb el seu disseny.

6. Validació del sistema.

Consisteix en comprovar i diferenciar el comportament del model de coet en la simulació i en el sistema real. Es valida amb:

- L'opinió d'experts sobre els resultats de la simulació.
- L'exactitud amb què es prediuen les dades històriques.
- L'exactitud en la predicció del futur.
- La comprovació d'errades del model de simulació en utilitzar dades que fan fallar al sistema real.

Un cop sabem el passos que haurem de dur a terme, ara realitzarem la nostra simulació del model de coet mitjançant el *Rocksim 9*:

Per començar haurem de definir amb exactitud en el programa les dimensions, formes, materials i posició de les peces del nostre model de coet. També cal tenir en compte les unitats en que voldrem que el programa calculi. En el nostre cas les haurem configurat amb les unitats del Sistema Internacional. El programa automàticament ens calcularà la posició del centre de pressions i el centre de gravetat com podem veure a la Figura 5.36.

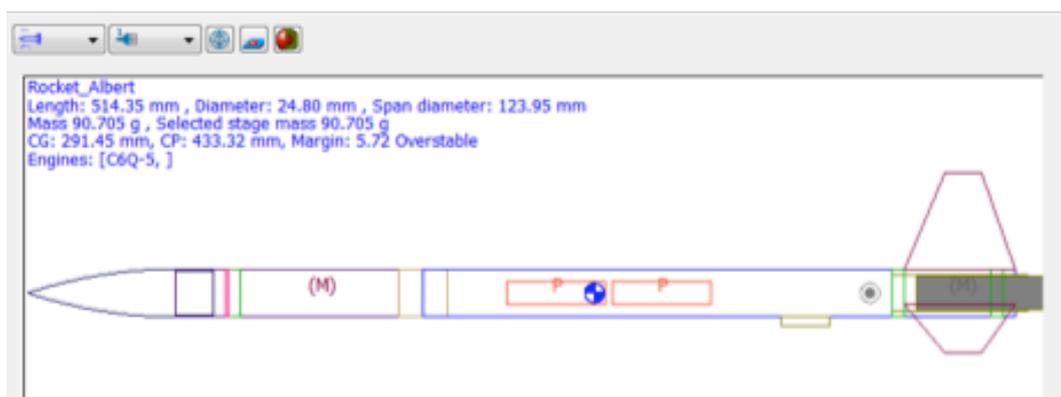


FIGURA 5.36: Finestra que ens mostra el dibuix del nostre model en el *Rocksim 9*.

Aconseguirem el nostre model de coet virtual a partir de la configuració de cada element del nostre model que es pot duu a terme a la finestra del programa que es pot observar a la Figura 5.37.

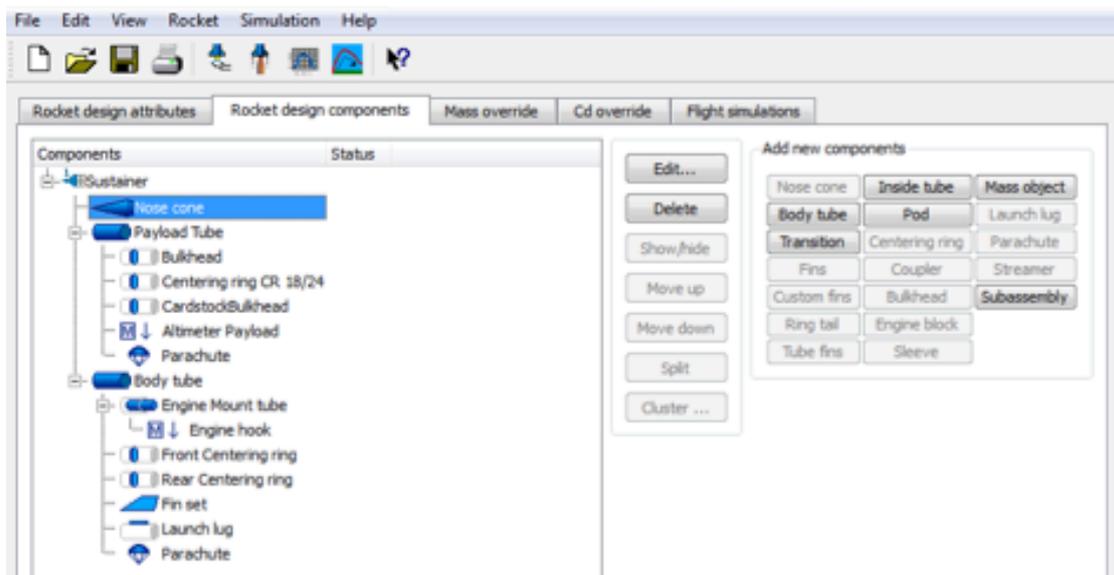


FIGURA 5.37: Finestra que ens mostra la configuració dels elements del nostre model.

En la finestra que podem observar a la Figura 5.38, detallarem els mètodes de càlcul en 2D i els mètodes de simulació (equacions d'estabilitat de Barrowman). També especificarem si el nostre coet porta un motor o porta una combinació de més d'un motor.

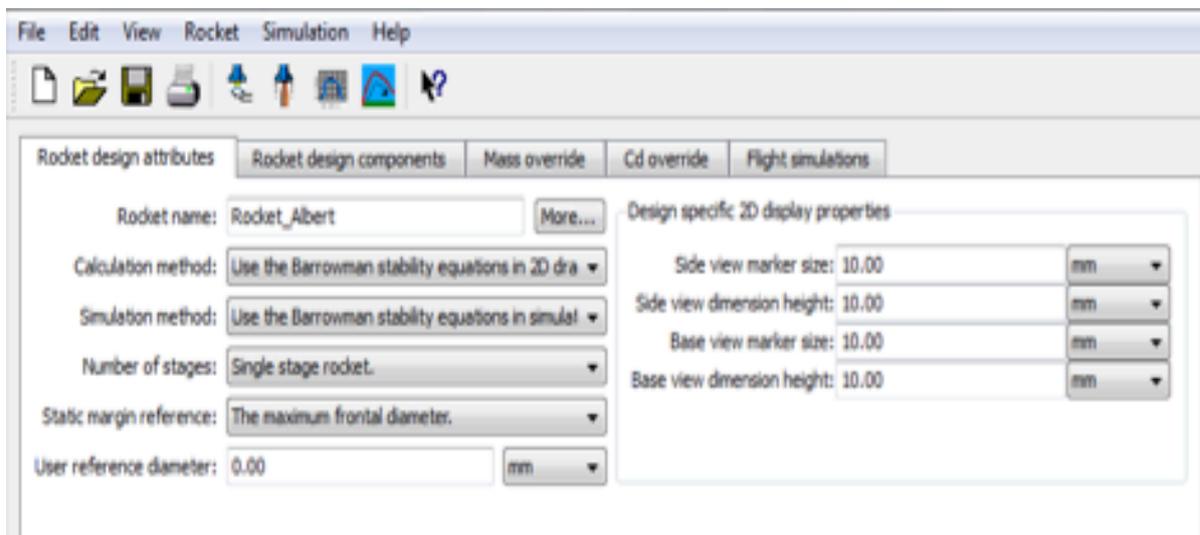


FIGURA 5.38: Finestra que ens mostra els atributs de disseny del coet.

[APLICACIÓ DE FACTORS AERODINÀMICS PER AL DISSENY I LA CREAMIÓ D'UN MODEL DE COET CASOLÀ]

Quan hem definit la geometria de les peces, el programa calcularà el coeficient de fricció de forma automàtica pel model de coet. A la finestra de la Figura 5.39 podem indicar si volem que utilitzi aquest valor o bé el coeficient de fricció que haguem calculat nosaltres. En el nostre cas utilitzarem la dada donada pel programa.

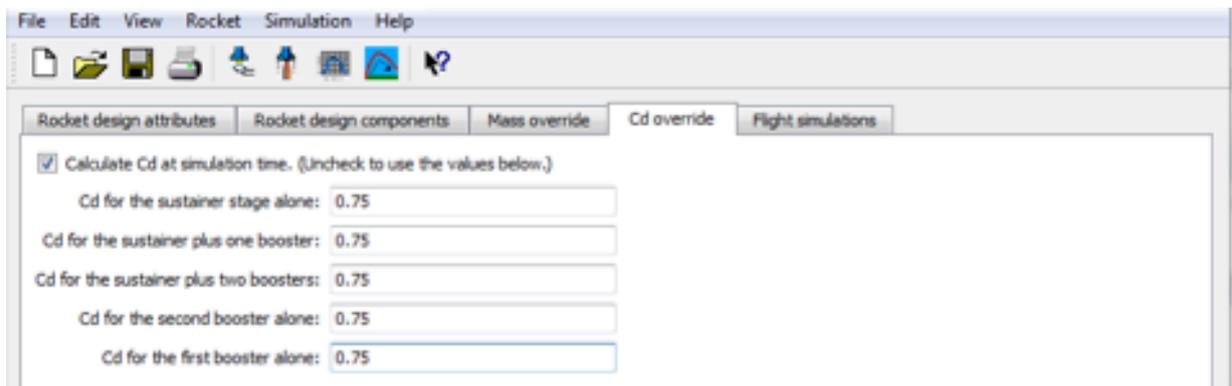
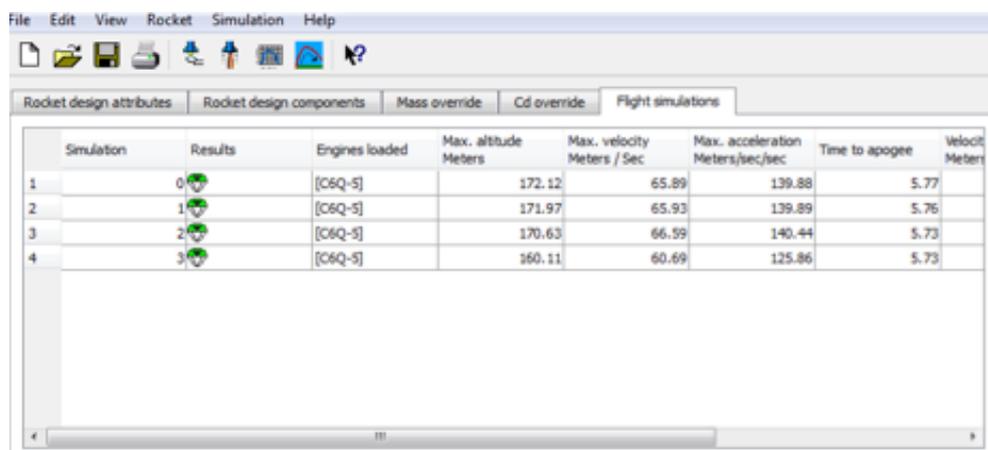


FIGURA 5.39: Finestra de configuració del coeficient de fricció.

La finestra de la Figura 5.40 ens dona els resultats de les diferents simulacions que hem dut a terme. Les dades que n'obtenim són la màxima acceleració, la màxima velocitat, la màxima altura, el temps d'apogeu, l'altura d'ejecció i el temps total de vol. Aquesta configuració de visualització de dades es pot configurar de forma selectiva anteriorment a la simulació editant les preferències.



Simulation	Results	Engines loaded	Max. altitude Meters	Max. velocity Meters / Sec	Max. acceleration Meters/sec/sec	Time to apogee	Velocity Meters
1	0	[C6Q-5]	172.12	65.89	139.88	5.77	
2	1	[C6Q-5]	171.97	65.93	139.89	5.76	
3	2	[C6Q-5]	170.63	66.59	140.44	5.73	
4	3	[C6Q-5]	160.11	60.69	125.86	5.73	

FIGURA 5.40: Finestra que ens dona els resultat de les simulacions.

[APLICACIÓ DE FACTORS AERODINÀMICS PER AL DISSENY I LA CREACIÓ D'UN MODEL DE COET CASOLÀ]

En la Figura 5.41 observem la finestra de la selecció dels motors dels models de coet. En aquesta especificarem el motor que voldrem utilitzar.

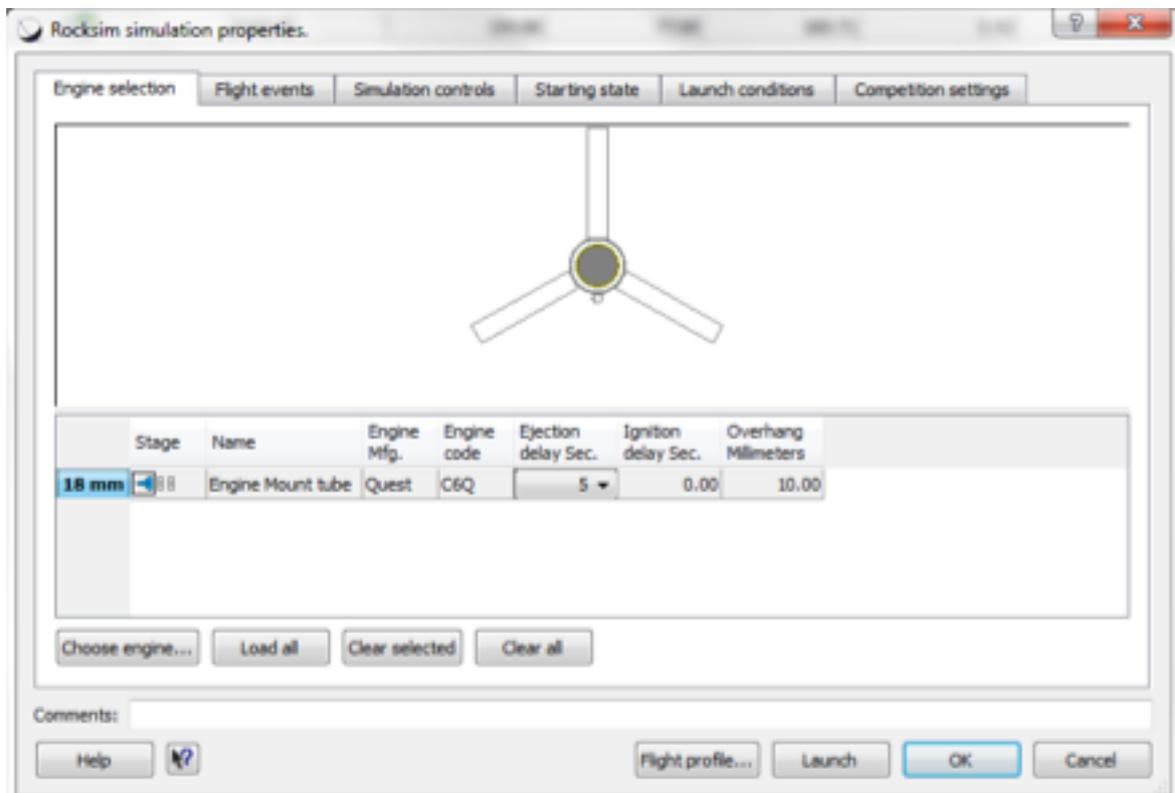


FIGURA 5.41: Finestra de configuració dels motors.

Llavors tindrem la possibilitat d'escollir el motor i indicar el temps des de que s'acaba la combustió fins que es produeix l'explosió.

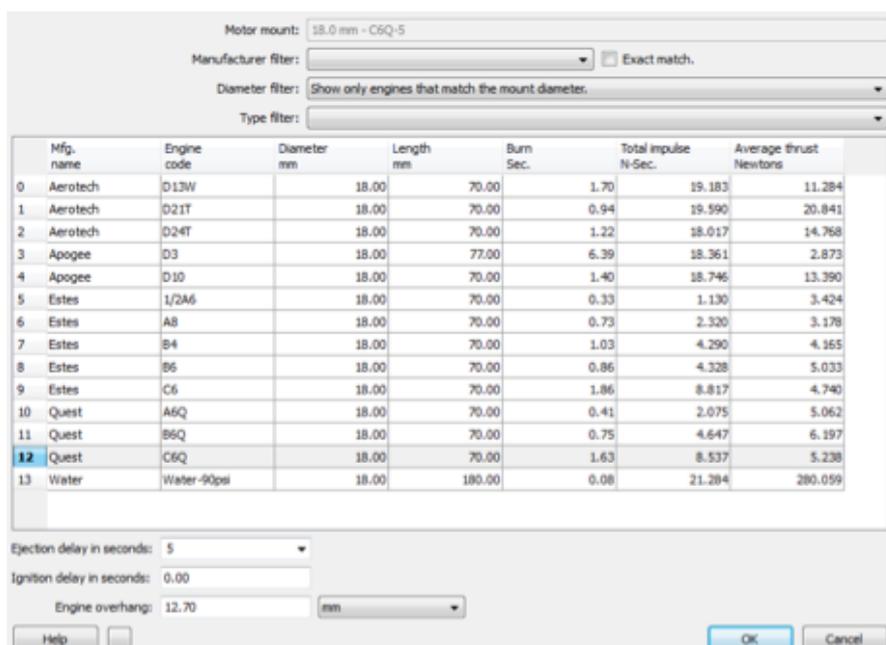


FIGURA 5.42: Finestra de selecció dels motors.

[APLICACIÓ DE FACTORS AERODINÀMICS PER AL DISSENY I LA CREATIÓ D'UN MODEL DE COET CASOLÀ]

En la finestra que podem observar a la Figura 5.43, s'especifiquen els successos que es preveuen durant el vol i es configura l'ejecció del motor.

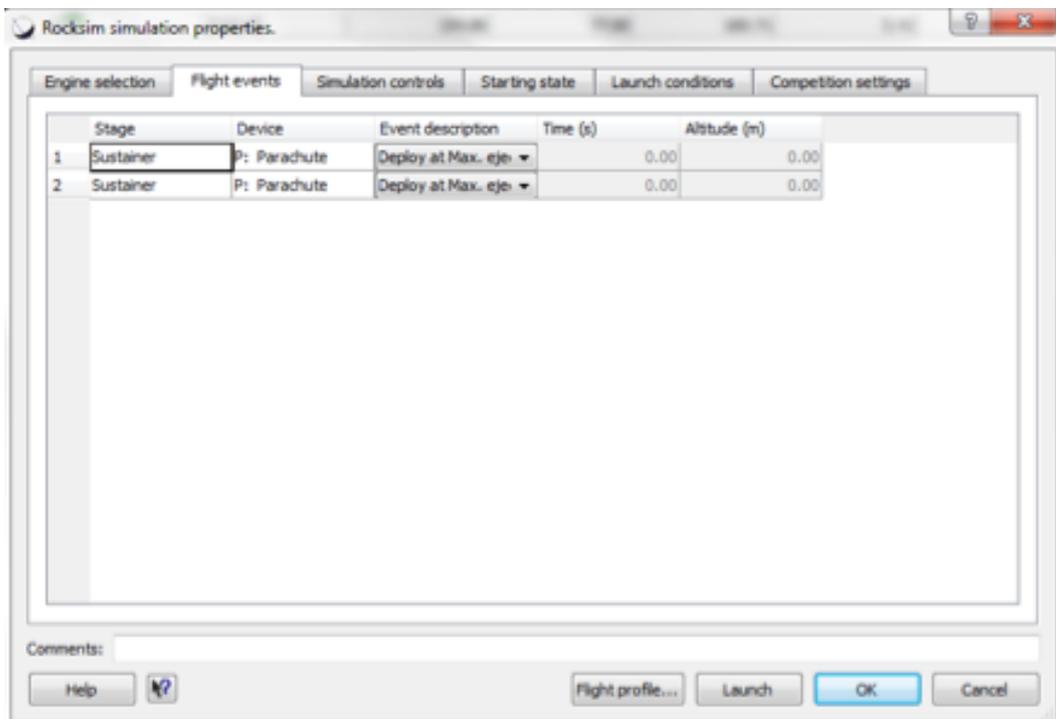


FIGURA 5.43: Finestra de successos durant el vol.

Seguidament veiem la Figura 5.44, que ens mostra els controls de la simulació i a on s'especifica el número de càlculs per segon al mètode de simulació i el punt final de simulació.

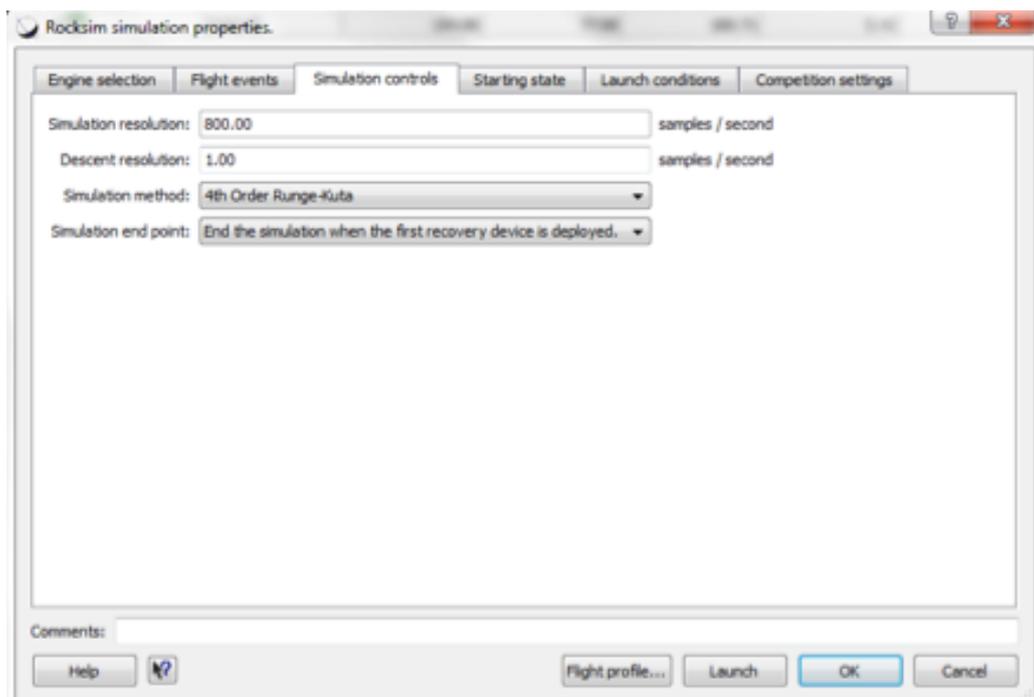


FIGURA 5.44: Finestra dels controls de simulació.

[APLICACIÓ DE FACTORS AERODINÀMICS PER AL DISSENY I LA CREACIÓ D'UN MODEL DE COET CASOLÀ]

En la següent figura veiem la finestra de l'estat inicial del model de coet. En aquesta es defineix l'angle d'inclinació en el moment de l'enlairament i la longitud de la guia de direcció de vol del coet.

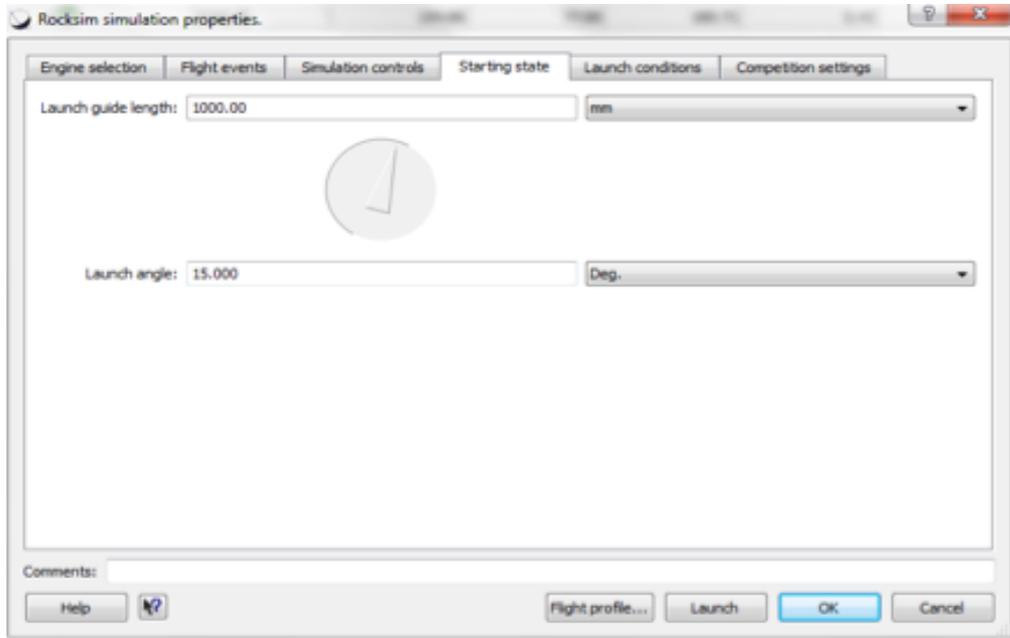


FIGURA 5.45: Finestra de l'estat inicial del coet.

En aquesta finestra es defineixen paràmetres com l'altura de llançament, la humitat relativa de l'aire, la temperatura atmosfèrica, la pressió baromètrica, les condicions de vent, les turbulències i la nuvolositat.

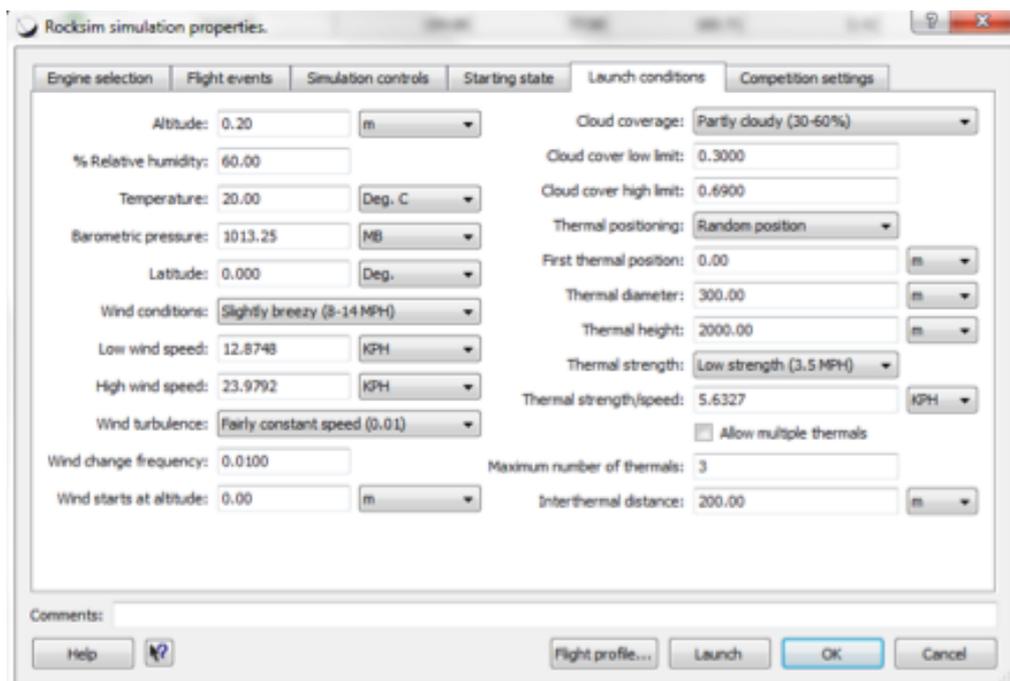


FIGURA 5.46: Finestra de les condicions de llançament.

5.5. LLANÇAMENT.

Aquest procés és important fer-ho en llocs molt extensos sense molta vegetació ni obstacles que puguin dificultar el vol i el descens del model de coet, ja que aquest, a l'hora del descens pot caure sobre un arbre o edifici i, no el podrem recuperar.

És molt important també triar un dia sense fenòmens meteorològics que puguin dificultar-nos la sessió. Com podria ser el vent o la pluja, ens canviaria la trajectòria del model de coet en cada llançament.

En aquesta prova ens interessa no tenir gens de vent per comprovar quin model de coet, té el nas del con més aerodinàmic, llavors veurem quin arribarà a més altura i a més velocitat, entre d'altres característiques.

Es va realitzar a les afores de L'Escala, concretament en un camp al costat del Camí dels Estanys (senyalat al mapa amb un punt vermell). La sessió va durar dues hores aproximadament.



FIGURA 5.47: Imatge del google maps de la situació geogràfica del lloc que es va realitzar la sessió dels llançaments. Escala 500/610.

En la sessió és van utilitzar quatre models de con dels cinc, ja que el con nº 0 a primera vista es podia veure que era el menys aerodinàmic. Aquí podem veure els cons:



FIGURA 5.48: Con nº0



FIGURA 5.49: Con nº1



FIGURA 5.50: Con nº2



FIGURA 5.51: Con nº3



FIGURA 5.52: Con nº4

[APLICACIÓ DE FACTORS AERODINÀMICS PER AL DISSENY I LA CREACIÓ D'UN MODEL DE COET CASOLÀ]

Es van realitzar vuit llançaments i es van prendre les característiques i mesures a través d'un altímetre⁹. Vam obtenir les següents dades:

Nº de Nas		1				2				3				4			
Llançament		1er	2on	3er	4rt												
Hora del llançament		08:57	09:19	15:40	16:10	09:45	09:54	16:34	16:45	10:07	10:20	17:04	17:09	10:41	11:00	17:21	17:27
DATES DE VOL	Apogeu [m]	140,0	153,0	159	146	143,0	160,0	112	123	151,0	147,0	157	145	149,0	150,0	136	135
	Velocitat màxima [km/h]	178,0	181,0	204	172	186,0	212,0	149	170	214,0	189,0	194	178	185,0	194,0	170	168
	Temps de combustió [s]	1,8	1,9	1,8	1,9	1,9	1,8	1,8	2,0	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9	1,8	1,8	1,8
	Temps de fi durant l'impuls [m/s ²]	2,8	2,8	3,2	2,6	2,8	3,4	2,4	2,4	3,5	2,9	3,1	2,7	2,8	3,1	2,7	2,6
	Acceleració màxima durant l'impuls [m/s ²]	14,8	12,7	12,9	16,4	11,1	10,2	9,9	14,1	13,8	10,9	20,1	11,8	8,8	11,7	17,1	17,5
	Temps de fi ignició a apogeu [s]	5,4	5,0	5,2	5,1	4,9	4,8	4,8	5,2	4,1	5,2	5,2	5,3	5,0	5,0	5,1	5,4
	Temps d'apogeu d'ejecció [s]	-0,2	-1,0	-0,2	-0,1	-1,0	-2,0	-0,1	-2	1,1	-2,0	-0,1	-0,1	-1,0	-0,1	-0,1	-0,1
	Altura d'ejecció [m]	131,0	147,0	148	139	133,0	153,0	100	127	146,0	139,0	146	124	143,0	139,0	120	112
	Velocitat de descens [km/h]	11,0	8,0	12	11	6,0	8,0	9	11	11,0	12,0	20	14	9,0	11,0	14	20
	Duració del vol [s]	44,1	65,8	46,0	47,1	72,0	65,8	39	39,0	47,8	41,5	31,9	37,7	58,1	49,9	36,8	25,8

FIGURA 5.53: Taula de dades que vam obtenir amb l'altímetre en els llançaments.

Per obtenir resultats i conclusions hem agafat les dades de les característiques més importants i hem fet un seguiment de cada llançament, on es pot observar en les següents gràfiques:

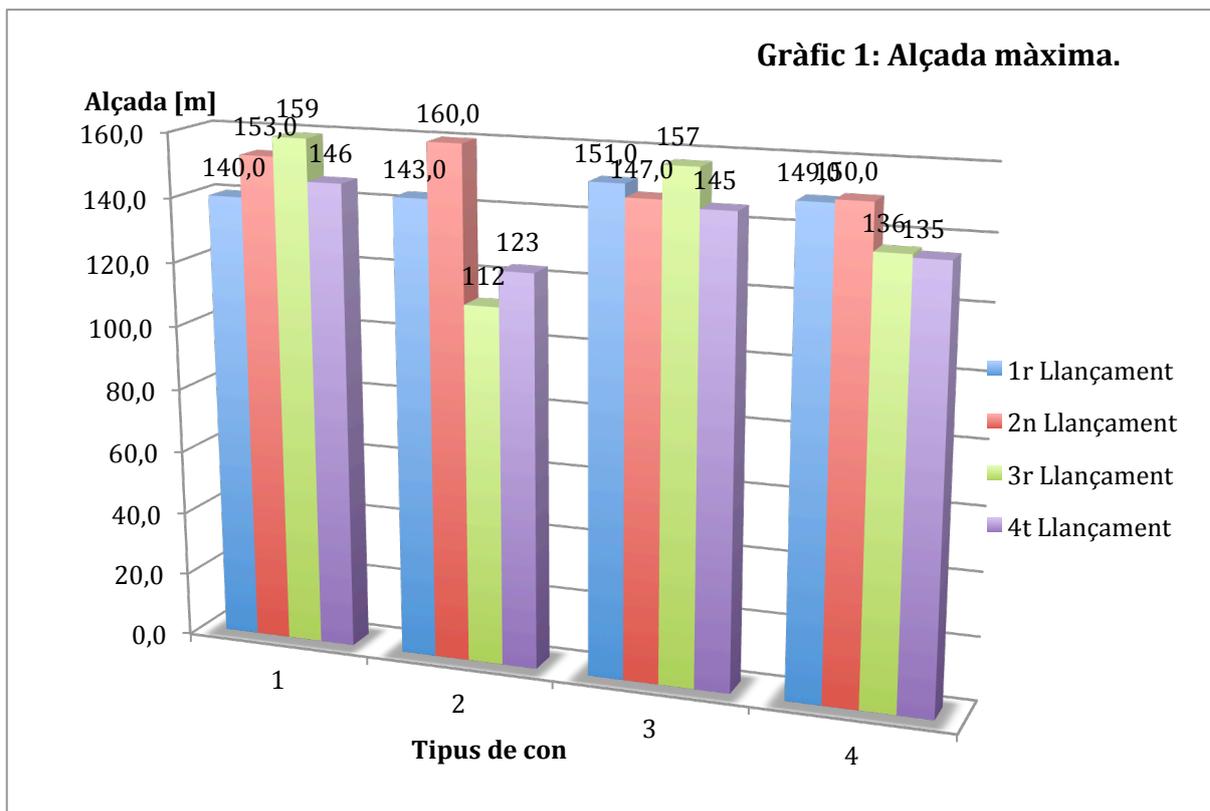


FIGURA 5.54: Gràfica de l'apogeu de tots els coets en els seus llançaments amb els diferents nassos.

⁹ Veure annex C.4.

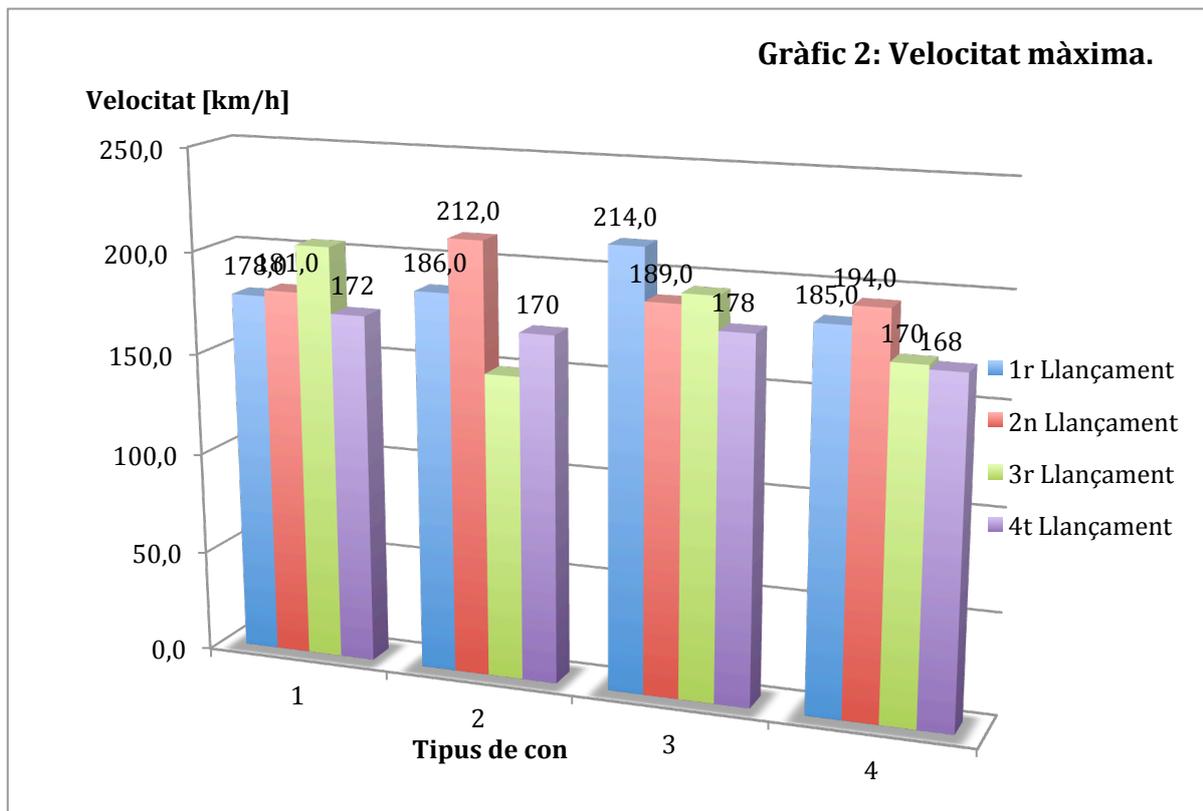


FIGURA 5.55: Gràfica de la velocitat màxima de tots els coets amb els diferents nassos.

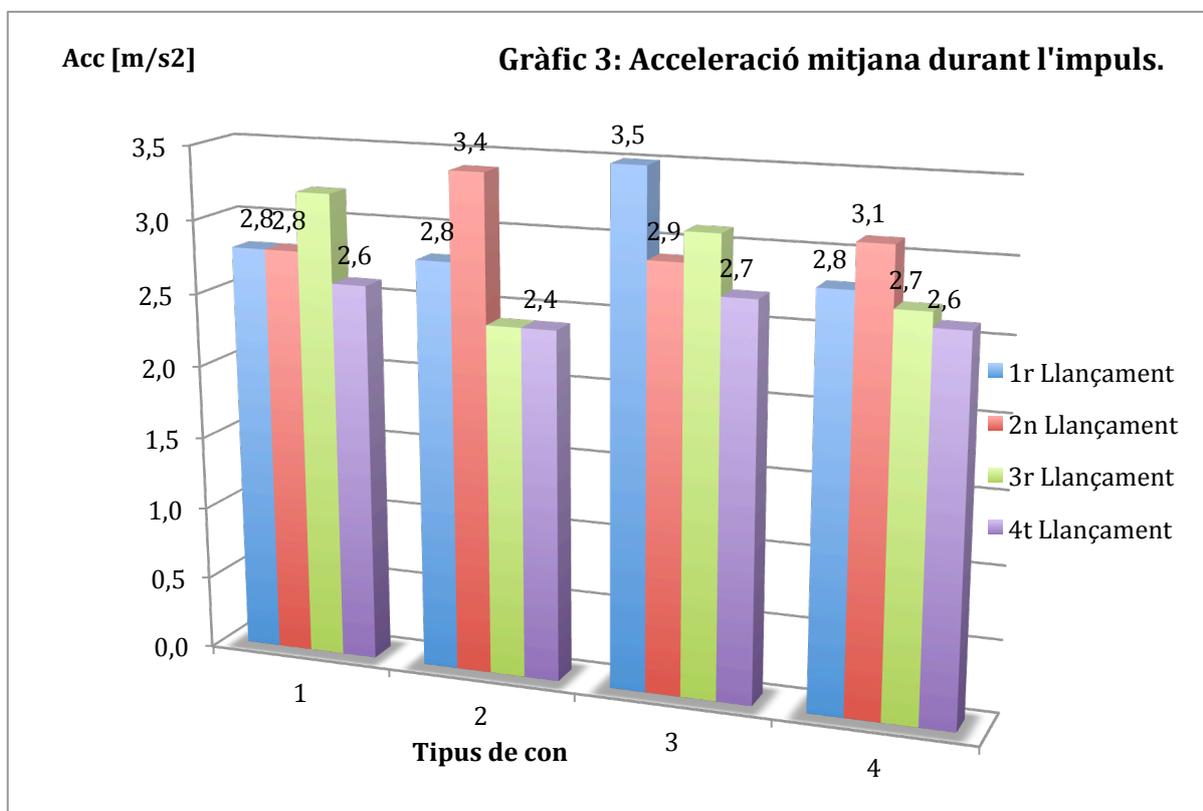


FIGURA 5.56: Gràfica de l'acceleració mitjana de l'impuls de tots els coets amb els diferents nassos.

5.6. CONCLUSIONS.

Al comparar els resultats de la simulació amb els resultats experimentals, s'ha trobat que tot i que s'apropen força, no es pot concloure que la simulació hagi estat massa acurada. S'ha calculat l'error entre els valors de la simulació i els resultats experimentals, i aquest es d'entre l'11 i el 22%.

El software Rocksim es americà i al llistat de motors disponibles per les simulacions, només hi apareixien motors de fabricants nord-americans. Com el transport aeri de explosius i derivats està prohibit (només està permès el transport terrestre), el fabricant dels nostres motors és Alemany. No ha sigut possible introduir els valors característics d'aquests motors alemanys a la base de dades de Rocksim perquè no disposem de llicència i hem utilitzat una versió Demo , i hem hagut de simular amb els valors característics d'un motor Nord-Americà, que tot i que eren molt semblants, no eren exactament iguals.

Cercant informació a Internet, s'ha trobat que hi ha molts usuaris de Rocksim que afirmen que els valors de les previsions d'altitud de les simulacions, són sempre més alts que els valors experimentals obtinguts finalment. Els dos motius anteriors poden justificar l'error de l'11-22%.

D'altra banda, s'ha observat que hi ha una diferència massa gran entre els resultats d'altitud obtinguts experimentalment com a resultat de llençar dos cops el coet amb la mateixa forma de nas, i sense variar les condicions de llançament. Això ens fa pensar que la composició química de dos cartutxos de motor és semblant però no exactament igual a la que els fabricants especifiquen. Això és de vital importància a l'hora de tractar les dades obtingudes experimentalment en el Fair Nose Cone Project, ja que la diferència de altitud provocada per la diferència de composició dels motors llençats amb el mateix nas, és més gran que la diferència d'altitud provocada per la resistència aerodinàmica que ofereix el coet si el llencem dos cops amb motors (suposadament d'idèntica composició) però amb

formes de nas diferents, és a dir, la variabilitat de les variables independents (composició dels motors) excedeix sobradament a la variabilitat de les variables dependents (el Drag induït per la forma dels diferents cons).

Analitzant la conclusió anterior i les dades obtingudes experimentalment, s'ha decidit anular els valors d'altitud més alt i més baix per a cadascuna de les 4 formes de nas avaluades. Aquest procediment estadístic s'anomena campana de Gauss, i serveix per descartar els valors extrems d'un procés i només tenir en compte per treballar els valors centrats.

Com es pot apreciar a l'Excel, de forma experimental, un cop rectificades les mitjanes dels valors d'altitud, el nas que assoleix una major altitud es el número 1 (Ojiva), seguit del número 3 (Cònic). Després es troben els números 4 i 2 (Cònic curt i Parabòlic).

El error calculat amb el número 2 (Parabòlic) és del 22%. Sabem que en règim subsònic la forma més aerodinàmica es precisament la del número 2 (és la que podem veure al cap d'avant de tots els avions comercials actuals), però en els 2 últims llançaments que vam realitzar amb aquest nas, de forma sorprenent es van obtenir els dos resultats d'altitud més baixos dels 16 llançaments que es van realitzar.

6.- BIBLIOGRAFIA I WEBGRAFIA.

Aquest apartat està constituït per tots els llocs de referència que s'ha pres i cercat tot la informació d'aquest Treball de Recerca 2011.

6.1. BIBLIOGRAFIA.

Llibres:

- ALBERT JACKSON & DAVID DAY. *Manual de modelismo*, (4^a edició). Madrid: Blume, 1990.
- ANGELO MIELE; ALDO FREDIANI. *Advanced desing problems in aerospace engineering*. New York: Springer, 2004.
- ASCHER. H. SHAPIRO. *The Dynamics and Thermodynamics of Compressible Fluid Flow*. New York, 1953.

Revistes:

- *Aircraft Engineering & Aerospace Tecchnology*. Bradford: MCB University Press, 1989.
- *Aviation*. Vilnius: Technika. Vol. 7, no. 1 (2003).
- *International Journal of Aerospace Innovations*. Brentwood: Multi-Science, 2009.
- *International Journal of Micro Air Vehicles*. Brentwood: Multi-Science, 2009.

Videos:

- APOGEE COMPONENTS. *Rocket Building Workshop 101*. [Vídeo de 85 min.].
- APOGEE COMPONENTS. *Rocketry Essentials: Info Every, Rocketeer Needs To Know*. [Vídeo de 28 min.].

6.2. WEBGRAFIA.

- <http://www.apogeerockets.com/education/index.asp>, 17 de juny de 2011. Comanda del *kit Avion* i l'altímetre.
- <http://www.astronomia-esp.com/biografias/personajes-historicos/>, 5 de setembre de 2011. Personatges importants del modelisme.
- <http://www.gabinetecienciasbarbara.blogspot.com>, 8 de setembre de 2011. Fotografies goniòmetre.
- <http://www.hobbymodel.es/modelismo-espacial>, 17 de juny de 2011. Comanda del *kit Vortex* i dels motors C6-5.
- <http://www.nar.org/index.html>, 3 d'agost de 2011. Normatives i Reglaments
- <http://www.sierrafoxbobbies.com/catalog>, 17 de juny de 2011. Pàgina web de demanda de modelisme.
- <http://www.uv.es/jbosch/PDF/ModelismoCohetes.pdf>, 10 de setembre de 2011. Modelisme espacial.
- <http://www.uv.es/jbosch/PDF/ModelRocketGuide.pdf>, 8 de novembre de 2011. Modelisme espacial.
- <http://ca.wikipedia.org/wiki/Simulador>, 30 d'octubre de 2011. Simulador.

6.3. PÀGINES WEB D'INTERÉS.

- <http://www.esa.int/>
- <http://www.fai.org/>
- www.leem.es/
- <http://www.mundoradiocontrol.es/>
- <http://www.nasa.gov/>
- <http://www.sierrafoxbobbies.com/catalog>
- <http://www.thrustcurve.org/>