

# ESTUDI DELS COETS D'AIGUA

---

2n de Batxillerat, científic

Taller Ginebró

Cardedeu, 17 de desembre de 2012

*Cada dia sabem més i entenem menys*

*ALBERT EINSTEIN*

## **Agraïments**

M'agradaria dedicar aquest treball a unes quantes persones que m'han ajudat durant la seva elaboració.

A tot aquells que m'han ajudat en la elaboració de la part pràctica, tant amb l'obtenció de materials com en Josep, com en ajudant-me en les proves com la Pilar, el Marc, la mestressa de la Julietta, l'Alexander, la Marta...

Però m'agradaria agrair especialment als meus pares i al meu germà per la seva paciència i per tots els dies que hem hagut de sortir a fer llançaments, independentment de la calor i del fred. Han estat per mi una ajuda indispensable. Sense ells, aquest treball no hauria estat possible.

Moltes gràcies a tots, i també a aquells que m'heu ajudat i que, per qüestions d'espai, no us puc posar en aquest apartat.

## Índex

Introducció .....	2
Què és un coet .....	3
Coets d'aigua .....	3
Principis .....	4
Principi de Pascal.....	4
Principi de Bernoulli .....	5
La resistència aerodinàmica .....	6
Principi de la conservació de la quantitat de moviment.....	7
Càlcul teòric de la velocitat .....	8
Construcció de la llançadora .....	9
Experimentació .....	12
1 Pressió .....	14
2 Densitat del fluid .....	19
3 Proporció del fluid .....	22
4 Volum de l'ampolla .....	27
5 Viscositat .....	30
6 Resistència aerodinàmica.....	33
Conclusions .....	37
Glossari.....	38
Bibliografia .....	39
Annexos.....	40

## Introducció

Des de ben petita que m'han cridat molt l'atenció els treballs experimentals; possiblement degut al fet que el meu pare és enginyer i la meva mare biòloga, a casa s'ha mostrat importància per la ciència i, és per això, que el meu germà i jo hem tingut molts jocs científics, d'experiments... que ens permetien comprovar, a diferents nivells, fets com: les forces magnètiques dels imans, l'energia electrostàtica, il·lusions òptiques...

Vaig escollir aquest tema perquè em permetia aplicar els meus coneixements en física apresos el curs passat i posar-los en pràctica mitjançant el treball de camp, que és el que més m'agrada. A més a més, tot i que encara no sé segur quin grau faré, una de les meves opcions que tenia era enginyeria aeroespacial; realitzant el treball he pogut comprovar si és el que voldré fer el curs vinent.

Aquest treball té tres objectius principals. El primer és realitzar un estudi teòric que em permeti ampliar els meus coneixements sobre els coets. El segon, és construir una llançadora que em permeti realitzar tots els llançaments de manera sistemàtica. I, el tercer, fer múltiples llançaments de manera sistemàtica, canviant les característiques principals: pressió, densitat del fluid, volum de l'ampolla, proporció entre el líquid i el gas, viscositat i aerodinàmica; per buscar quines són les característiques que permeten al coet assolir una major altura.

En primer lloc, es va realitzar un estudi teòric del coet, tot realitzant una profunda recerca a través d'Internet.

Un cop la física del coet va estar explicada i assolida, es va procedir a la fabricació d'aquest, a partir d'ampolles de PET, tenint en compte la informació obtinguda durant la primera fase del treball.

Després de realitzar les diferents proves i llançaments s'ha pogut provar el comportament del coet sota diferents condicions, i extreure conclusions a partir de gràfics.

Cal dir que s'ha obtingut un model que, tot i basar-se en aproximacions, és prou exacte, i els resultats que dona són molt semblants als teòrics.

Durant l'elaboració del treball ens hem trobat amb algunes dificultats, sobretot a l'hora de realitzar i analitzar cadascun dels llançaments.

## **Què és un coet**

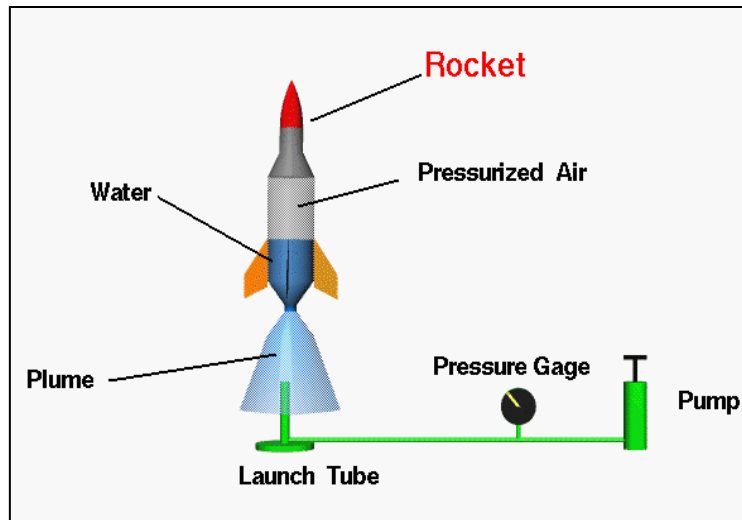
Un coet és un vehicle autònom propulsat per l'ejecció de massa en una direcció determinada. El seu origen és oriental però no se'n té constància fins el 1232 a Xina. A Europa, els coets van ser introduïts pels àrabs.

Del s. XV-XVI els coets van ser utilitzats com a armes bèl·liques i, aquesta funció la van recuperar el s. XIX durant les guerres napoleòniques, la I guerra Carlina (1833-1840) i la guerra del Marroc (1860). A finals del s. XIX i principis del s.XX, científics com Konstantin Ciolkovskij (rus), Hermann Julius Oberth (alemany) i Robert Hutchings Goddard (nord-americà) van veure que els coets podien ser utilitzats per propulsar vehicles aeris espacials tripulats. Això va fer que primer es desenvolupessin coets amb finalitats astronàutiques, que, entre d'altres, van fer possible el programa *Apollo*.

Atenent als seus usos es diferencia entre *coets llançadors*, que satel·litzen enginyers o propulsen missions tripulades, els *coets sonda*, destinats a estudiar regions de l'alta atmosfera, compreses entre el sostre de vol dels globus aerostàtics i l'altitud mínima dels satèl·lits, i els míssils d'aplicacions militars.

### **Coets d'aigua**

Un coet d'aigua és bàsicament una ampolla de plàstic amb certa quantitat d'aigua i aire a pressió dins. D'aquesta manera s'aconsegueix que hi hagi més pressió a l'interior de l'ampolla que a l'exterior, això fa que el gas empenyi a l'aigua, amb molta força, cap a l'exterior a través del forat de l'ampolla i provoca que el coet surti disparat cap amunt.



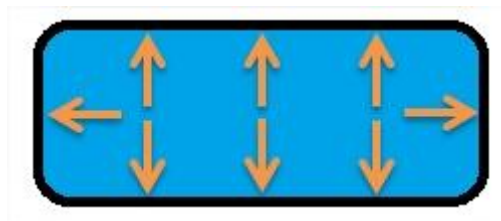
Imatge 1 Esquema bàsic de funcionament

Però per realitzar els llançaments és necessari un dispositiu de llançament, també conegut com llançadora. Aquest té la funció de controlar el llançament. Consta d'uns tubs que condueixen l'aire fins a l'interior del coet, d'aquesta manera podem controlar la pressió abans del llançament i el moment en el qual serà disparat.

## Principis

### **Principi de Pascal**

Aquest principi actua dins d'un cilindre hidràulic. Al seu interior, trobem un líquid incompressible sotmès a certa pressió. Això fa que el líquid exerceixi força sobre tota la superfície, aquesta força és igual i perpendicular per tots els punts de la superfície, quan el líquid està en repòs.



Imatge 2 Principi de Pascal

L'expressió que determina la pressió segons la força exercida i la unitat de l'àrea és la següent:

$$F = P \cdot A$$

On  $P$  és la pressió que està sotmès el líquid i  $A$  la superfície de l'èmbol. D'aquesta manera si el sistema presenta dos èmbols l'expressió és:

$$F1 \cdot A2 = F2 \cdot A1$$

On  $F1$  és la força del primer pistó i  $A1$  l'àrea d'aquest,  $F2$  i  $A2$  són la força i l'àrea respectivament del segon pistó. Si un dels dos pistons té més superfície que l'altre, el sistema és utilitzat per multiplicar la força que s'aplica.

Com que el nostre sistema només té un èmbol utilitzarem la primera expressió.

### **Principi de Bernoulli**

El principi de Bernoulli servirà per determinar la velocitat de l'aigua quan surt de l'ampolla. El principi diu que un fluid ideal (sense viscositat ni fregament) conserva la seva energia quan està en moviment per dins d'un conducte tancat. L'energia d'un fluid està composta per tres components:

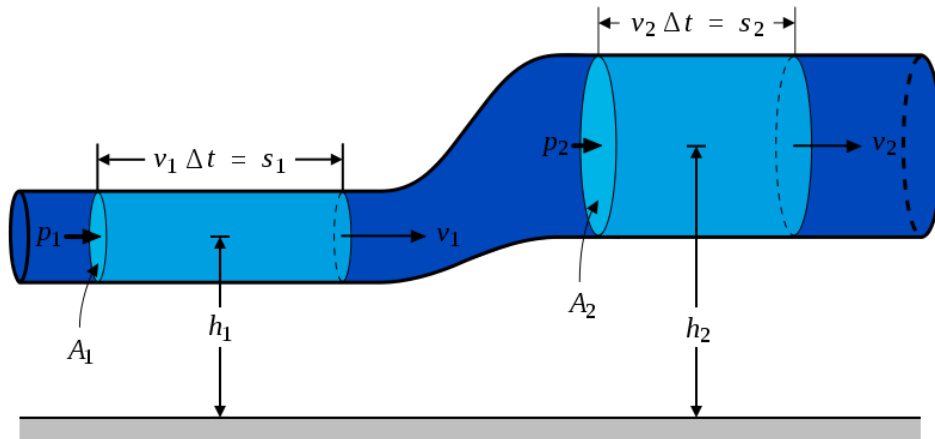
- L'energia cinètica: deguda al moviment i la velocitat del fluid.
- L'energia potencial gravitatòria: deguda a l'altura.
- L'energia de flux: energia que té un fluid depenent de la seva pressió.

L'equació de Bernoulli només es compleix quan la viscositat és nul·la, el caudal i la densitat són constants i sempre s'ha d'aplicar quan hi ha una línia de corrent. L'equació és la següent:

$$\frac{V^2 \rho}{2} + P + \rho g z = k$$

On  $V$  és la velocitat a la que es mou el fluid,  $\rho$  és la densitat del líquid,  $P$  és la pressió a la qual està sotmès el líquid,  $g$  és l'acceleració gravitatòria,  $z$  és l'altura a la que es troba el fluid respecte a un punt de referència considerat 0 i  $k$  és una constant.





Imatge 3 Principi de Bernoulli

Així, l'energia d'un fluid quan es mou per un conducte és constant, per tant, això vol dir que és independent de la pressió, l'altura o la velocitat a la que es mou.

### La resistència aerodinàmica

Tots els cossos que es mouen a través d'un fluid experimenten una resistència al moviment. Aquesta resistència sempre actua en sentit oposat a la velocitat. La seva expressió és:

$$F = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot \mu \cdot A$$

On  $F$  és la força de fregament,  $\rho$  és la densitat del fluid,  $v$  és la velocitat del cos quan es mou a través del fluid,  $\mu$  és el coeficient aerodinàmic i  $A$  és l'àrea de la superfície de referència (frontal). □

En el nostre càlcul com que, en un mateix llançament, la densitat, l'àrea frontal i el coeficient aerodinàmic són constants; el càlcul quedarà reduït al producte de la velocitat al quadrat del coet i un valor numèric que és constant.

Totes les dades es poden obtenir teòricament exceptuant el coeficient aerodinàmic que deduirem empíricament.

## Principi de la conservació de la quantitat de moviment

La teoria que explica el funcionament dels coets és el principi de conservació de la quantitat de moviment. La quantitat de moviment o moment lineal,  $P$ , d'un cos és el producte de la seva massa per la velocitat a la qual es desplaça:

$$P = m \cdot v$$

Només es pot aplicar en condicions ideals (sense fricció). En el llançament de coets com que actuen forces externes no es pot complir aquest principi, tot i que si que les compliria si es tractés d'un sistema aïllat.

D'aquesta manera, seguint la primera llei de Newton o el principi d'inèrcia es pot enunciar: si la força neta que actua sobre el cos és nul·la, la quantitat de moviment del cos es manté constant.

Seguint la segona llei de Newton o el principi fonamental de la dinàmica deduïm que la quantitat de moviment varia quan la força resultant no és nul·la.

El coet fa un moviment accelerat, i això significa que la tercera llei de Newton o principi d'acció i reacció també es compleix.

$$F = -F'$$

El principi d'acció i reacció (tercera llei de Newton) estableix que quan un cos exerceix una força  $F$  sobre un segon cos, el segon cos efectua sobre el primer una altra força  $F'$  que té el mateix mòdul i direcció que  $F$ , però sentit contrari. Per tant, considerem, que una força és d'acció i l'altra de reacció.

Segons aquest principi, la quantitat de moviment del coet a l'instant  $t_0$ ,  $P(t_0) = M(t_0) \cdot v(t_0)$ , és igual a la quantitat de moviment a l'instant  $t_1$ ,  $P(t_1) = [M(t_0) - m(t_1)] \cdot [v(t_0) + v(t_1)] + m[v(t_0) - v_e] \Delta t$  on  $m$  és la massa ejectada per unitat de temps i  $v_e$  la velocitat a què és ejectada. A partir d'aquesta igualtat resulta que l'increment de velocitat del coet és

$$\Delta v = \frac{mv_e \Delta t}{M(t_0) - m(t_1)} = \frac{mv_e \Delta t}{\Delta m}.$$

La velocitat del coet a l'instant  $t$  és  $v(t) = \int_0^t \Delta v = \int_0^t \left[ \frac{mv_e}{M_0 - m_1} \right] \Delta v = -v_e [\ln M(t) - \ln M_0] = v_e \ln \left[ \frac{M_0}{M(t)} \right]$ . Aquesta equació del quocient  $\frac{M_0}{M(t)}$ , dóna la relació de massa entre la massa inicial del coet i la massa a l'instant  $t$ , és l'equació fonamental dels coets.

Després de la fase d'impuls, quan l'ampolla es buida, hi ha la del vol balístic. En aquesta fase el coet ja només depèn de la velocitat que se li ha atorgat anteriorment, el seu propi pes i la resistència de l'aire. En aquesta fase el coet desaccelerà fins que assoleixi l'altura màxima i després començarà a caure, pel seu propi pes. És la fase de més durada.

### **Càlcul teòric de la velocitat**

Per calcular la velocitat inicial del coet s'utilitzarà l'equació de Bernoulli:

$$\frac{V^2 \cdot \rho}{2} + P + \rho g z = k$$

Aquesta equació simplificada i aïllada per a la velocitat equival a:

$$v = \sqrt{\frac{2P}{\rho}}$$

Es calcula la velocitat inicial del fluid (aigua) quan el llançament es realitza a 2 bars. La  $P$  fa referència a la pressió, però no la que hi ha dins de l'ampolla, sinó la diferència entre el pressió de l'exterior i l'interior.

$$P_{\text{exterior}} = 1 \text{ atmosfera} = 1 \text{ bar}$$

$$P = P_{\text{int}} - P_{\text{ext}} = 2 - 1 = 1 \text{ bar}$$

$$1 \text{ bar} = 760 \text{ mmHg}$$

$$v = \sqrt{\frac{2P}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 760}{1}} = 4\sqrt{95} = 38,987 \text{ m/s}$$

La velocitat inicial del fluid, en aquest cas aigua ja que  $\rho = 1 \text{ kg/dm}^3$ , és de 38,978 m/s.

## Construcció de la llançadora

Per poder assolir el segon objectiu, que és llançar un coet d'aigua, necessitem construir una llançadora.

La llançadora l'haurem d'utilitzar en tots els llançaments. En canvi, el coet no l'utilitzarem fins a la fase d'aerodinàmica, un cop estudiades totes les altres característiques.

La llançadora farà que els coets surtin propulsats de la manera adequada, ja que ens permet subjectar el coet verticalment, introduir-li aire a pressió, que prové d'una manxa, evitar la sortida d'aire i, també, a l'hora del llançament, permet la sortida de l'aigua i l'aire instantàniament; la llançadora haurà de ser sofisticada per tal de poder fer els múltiples llançaments de manera sistemàtica.

### Material

- 1,30 m de tub de canonada de PVC de 2 cm de diàmetre
- 3 tps del mateix material i del mateix diàmetre
- 1 vàlvula de pneumàtic de bicicleta
- 2 T femelles per a connectar el tubs
- 2 connectors amb un cantó femella i l'altre mascle amb rosca
- 1 connexió femella sense rosca
- Cola per enganxar PVC
- Tefló
- 2 abraçadores metàl·liques i diferents abraçadores de plàstic
- 3 cm tub de PVC de 4 cm de diàmetre interior

### Procediment

Primer de tot, tallem els tub de PVC de 2 centímetres de diàmetre en 5 trossos. Els trossos han de ser:

- 1 tub de 20 cm
- 4 tubs de 30 cm
- 1 tub de 40 cm

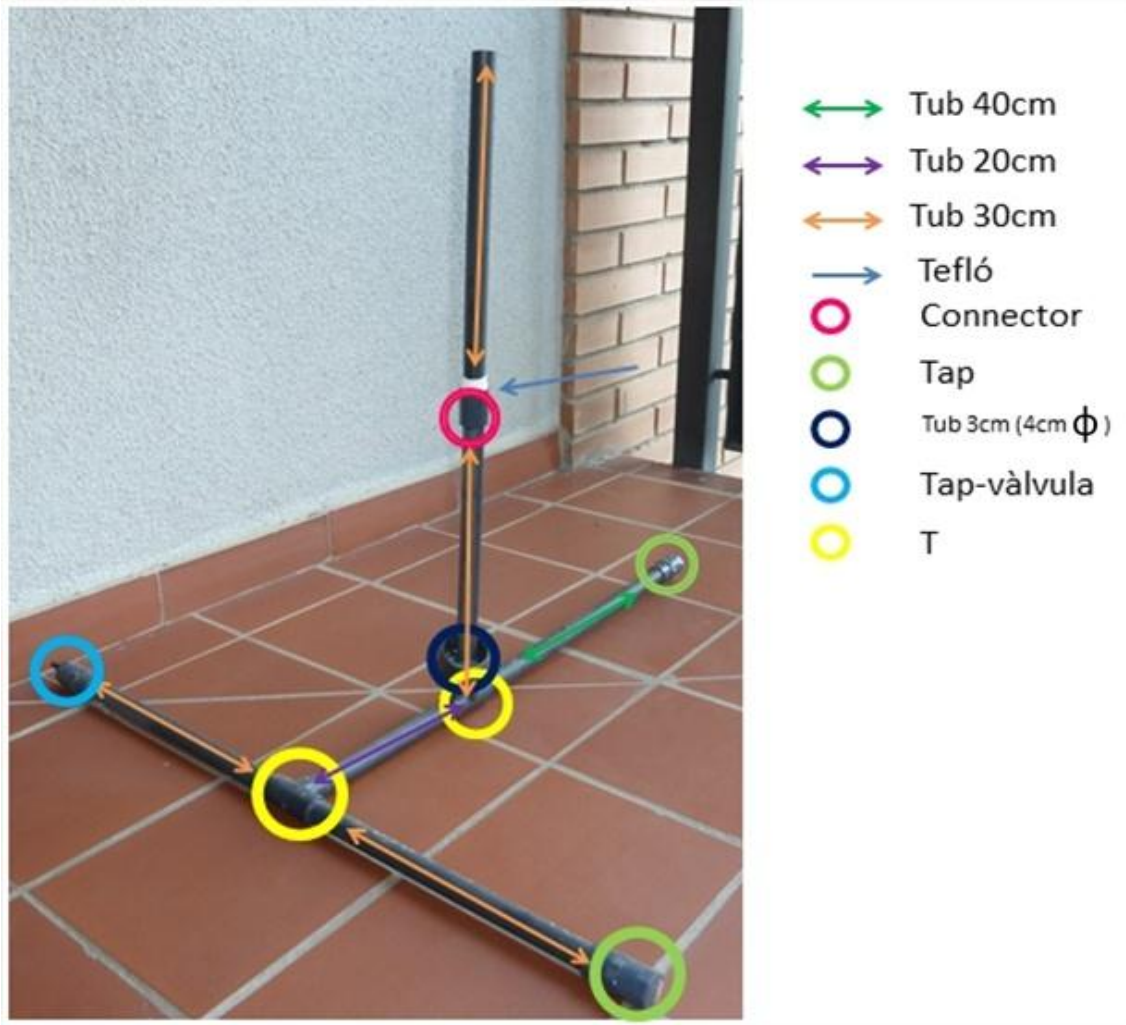
També tallem el tub de PVC de 4 cm de diàmetre en un tros de 3 cm. És molt important que els 4 cm de diàmetre corresponguin al diàmetre interior.

A continuació, agafem un tap i el foradem pel mig; per dins del forat hi introduïm la vàlvula i la enganxem amb cola especial per PVC. El tap amb la vàlvula els unim en un tub de 30 cm amb la cola. Tot seguit, agafem un tap i un tub de 30 cm i els unim amb la cola. Un cop fet això, unim el tub amb el tap-vàlvula i el tub-tap mitjançant una T amb rosca; aquests els unim de manera no quedin perpendiculars. Amb això acabat, hem completat la part davantera de la base.

Per construir la part del darrere de la base, primer unim al tub de 20 cm la part femella del connector. Després, l'unim a una T amb rosca. A continuació, unim l'últim tap al tub de 40 cm i, a l'altre extrem, l'ajuntem amb una T amb rosca. Cal recordar que a totes les unions s'hi ha de posar cola per tal d'evitar pèrdues. Aquesta part ja s'ha finalitzat.

La part més difícil de realitzar és l'alçat. Aquest consisteix en unir dos tubs de 30 cm mitjançant una connexió. Tot seguit, s'uneixen amb la T amb rosca que uneix els tubs de 20cm i 40cm de manera que els tubs que unim quedin completament perpendiculars al terra.

A continuació, posem una mica de tefló al lloc de l'alçat on s'ha de col·locar el coet, també es pot realitzar amb una junta tòrica. Per donar més estabilitat al coet a l'hora del llançament es posen de 3 a 4 brides lligades amb dues anelles, a la part inferior de la connexió entre els tubs de 30cm.



Imatge 4 Llançadora

Després d'haver realitzat una sèrie de llançaments de prova, es dona per finalitzat aquest apartat ja que tots els llançaments surten correctament.

## **Experimentació**

L'objectiu és trobar el coet d'aigua que arribi més amunt o arribi a més alçada, tenint en compte les diferents variables: pressió, densitat del líquid, volum de l'ampolla, proporció entre líquid-gas, viscositat i resistència aerodinàmica.

Per conèixer quin és el tret que permet al coet sortir amb més velocitat i, per tant, tenir una major altura; farem diversos llançaments.

Es deduirà quin és el valor més idoni de les següents característiques: pressió, densitat del líquid, proporció entre fluid i el gas, mida de l'ampolla, viscositat i aerodinàmica, que permetin que assoleixi una major altura.

Per fer-ho, necessitarem:

- 2 càmeres
- Ampolles de plàstic
- Balança
- En principi utilitzàvem una Barra de 2 metres (pintada cada 20cm), però posteriorment es va haver d'ampliar a 4 per mantenir la precisió de les mesures
- Cronòmetre
- Llançadora
- Llibreta per apuntar les dades
- Manxa

Cal advertir, que una persona sola no se'n sortirà per captar tota la informació i fer diverses coses a la vegada, això vol dir que es necessitaran entre 2 i 3 ajudants.

S'utilitzen ampolles de plàstic en comptes de models fets de metall principalment, degut a la seguretat que les ampolles de plàstic proporcionen, i a més de moltes altres avantatges com que no s'oxiden ni es corroeixen... Tampoc es poden utilitzar ampolles de vidre ja que, quan aquestes caiguessin al terra es trencarien i es podria prendre mal a part de causar un gran impacte sobre el medi.

Tots els llançaments es realitzaran en espais a l'aire lliure per qüestions de seguretat, i degut a que en un espai interior no es podrien assolir alguns dels objectius proposats com l'altura màxima..., ja que a pressions elevades el coet xocaria contra al sostre. A més a més, s'ha de tenir en compte que en aquest espai no hi hagi gent per tal d'evitar riscos innecessaris.

Abans de començar a fer cap llançament hem de col·locar la barra darrere de la llançadora per tal de que a l'hora d'analitzar, amb la primera càmera, la gravació més propera a la base de llançament es pugui determinar la velocitat de sortida. Cal assegurar-se que el coet no tapa la barra sinó que està cap a un costat, d'aquesta manera serà més fàcil determinar la velocitat. Amb l'altra càmera es gravarà des de més lluny, per tal de poder enregistrar tot el recorregut del coet sense moure la càmera, aquesta informació, posteriorment, servirà per calcular l'altura màxima i la trajectòria.

La barra de 4 metres és indispensable per poder determinar la velocitat de sortida, ja que un cop realitzat el llançament i amb la gravació de la càmera més propera, ens permetrà saber la posició de l'ampolla o el coet, en cada instant de temps. El material pot ser fusta, acer inoxidable... Si és de fusta es pot pintar amb pintura i si és d'acer inoxidable és recomanable posar-hi unes marques amb cinta americana o aïllant, sempre d'algun color que es distingeixi bé del de la barra. Les marques han d'estar separades entre elles entre 10 i 30 cm, però totes a la mateixa distància; en aquest cas les marques estan separades les unes de les altres 20cm, i totes han d'estar igual de separades perquè així es simplifica el càlcul posterior, com més properes siguin les marques, més exactitud s'aconseguirà en el càlcul, ja que hi haurà menys marge d'error. S'ha de ser precís quan es realitza ja que, sinó la velocitat inicial serà incorrecta. Cal remarcar que la pressió que exerceix l'aire sobre el fluid no és constant, sinó que canvia en cada instant perquè el volum també canvia constantment... Com més llarga sigui la barra-mesura més informació es tindrà sobre el coet durant aquest espai respecte el temps.

Per tenir més dades per poder treballar, s'haurà de mesurar el temps de vol amb el cronòmetre i la massa amb una balança.

És molt important que s'apunten molt bé totes les dades característiques de cada llançament, per tal de que la informació no es barregi ni es perdi.

Tots els llançaments sotmesos a les mateixes variables es realitzaran un mínim de tres cops, per tal de que l'error es minimitzi i els valors, així, siguin més acurats i precisos.



## 1 Pressió

Primer de tot, és necessari saber que una ampolla que conté una beguda carbonada suporta com a màxim entre 9 i 11 bars, ( $9 \cdot 10^5 \text{Pa}$  –  $11 \cdot 10^5 \text{Pa}$ ), en funció del fabricant, enfront de les ampolles amb begudes no carbonades que suporten menys pressió. És per això que utilitzarem ampolles de begudes carbonades.

Es fan els llançaments mantenint sempre les variables pertorbadores constants (densitat del líquid, mida de l'ampolla, proporció entre líquid i gas i aerodinàmica) i només canviant la variable que estem estudiant, en aquest cas la pressió.

Cal tenir en compte les mesures de seguretat, ja que s'apliquen altes pressions dins de les ampolles. La distància de seguretat recomanable és la següent:

Pressió del llançament	Amb protecció als ulls	Sense protecció als ulls
<4 Bars ( $4 \cdot 10^5 \text{Pa}$ )	10'	20'
> 4Bars ( $4 \cdot 10^5 \text{Pa}$ )	20'	40'

S'ha de recordar que la mateixa energia que pot llançar el coet a altures increïbles també pot ser alliberat en una explosió. Estar massa a prop quan això succeeix, especialment sense protecció ocular, podria causar greus problemes.

L'instrument que ens servirà de més ajuda és la càmera que grava des de més a prop, ja que és la que ens permetrà saber la velocitat inicial de cada llançament. Per saber-la utilitzarem el programa informàtic "Windows Movie Maker", perquè ens permet veure els vídeos fotograma a fotograma, que és el que es necessita, ja que la velocitat de sortida del coet és força elevada i sense aquest programa, obtindríem velocitats molt disperses que no s'ajustarien a la realitat.

El que s'hauria d'obtenir de cada gravació és la mesura del desplaçament realitzat per l'ampolla i el temps que triga en fer-ho. Primer de tot, mirem des d'on surt l'ampolla, aquesta alçada la considerarem 0m i, tot seguit, observem quin és el fotograma que ens mostra l'ampolla més amunt, però que estigui dins del rang de la barra-mesura i mesurem la distància realitzada per l'ampolla; no hem d'oblidar que la barra-mesura està pintada de blanc i blau cada 20cm respectivament, o bé, marcada amb cinta aïllant, i ens serveix per determinar aquest desplaçament.

Simultàniament, s'ha d'anotar el temps que transcórrer durant la posició de repòs on l'ampolla encara no ha començat a pujar, fins la posició on l'ampolla està a punt de sortir de la barra-

mesura. Per obtenir el temps transcorregut s'haurà de restar el temps final de l'inicial. ( $\Delta t = t_1 - t_0$ ).

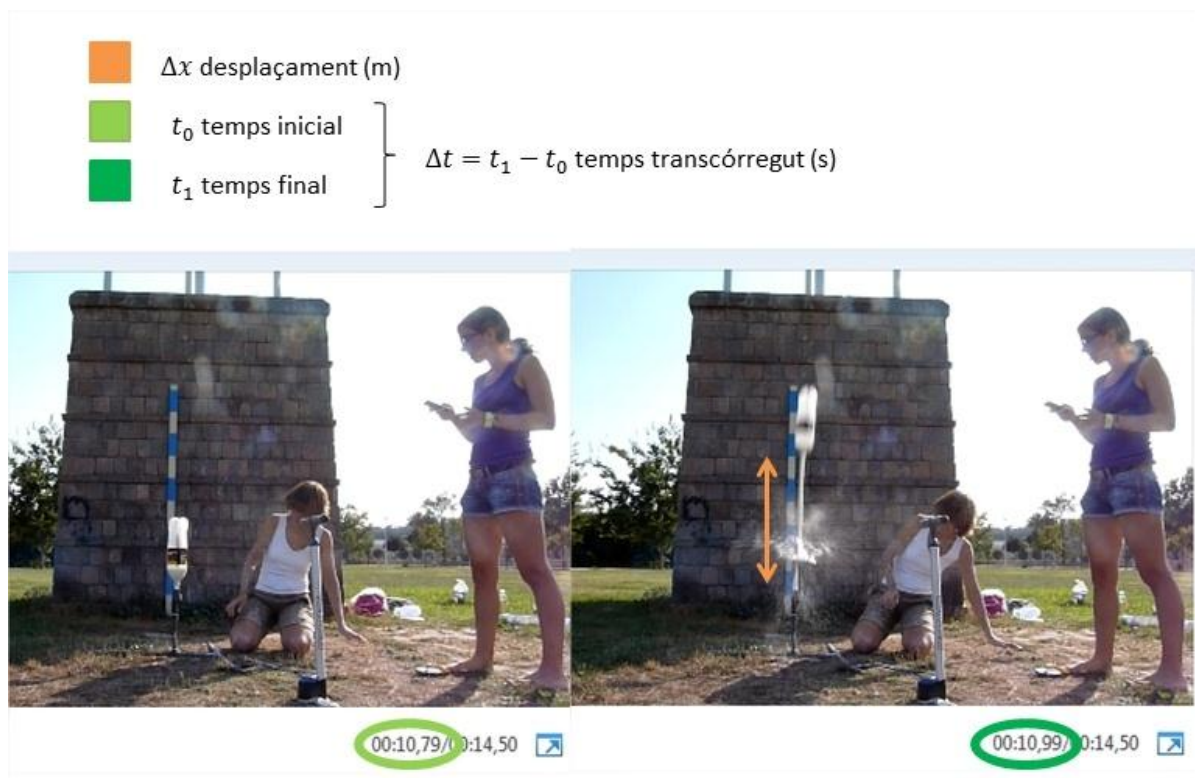
Per tal de saber la velocitat es dividirà el desplaçament efectuat entre el temps transcorregut, ja que la velocitat és la magnitud que ens relaciona la posició amb el temps.

Per tant:

$$\Delta v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_1 - x_0}{t_1 - t_0}$$

On  $x_0$  és la posició inicial,  $x_1$  la posició final,  $t_0$  el temps inicial,  $t_1$  el temps final,  $\Delta x$  la variació de la posició o desplaçament,  $\Delta t$  la variació del temps i  $\Delta v$  la variació de la velocitat.

En els llançaments ni la velocitat ni l'acceleració són constants, per tal de minimitzar s'agafarà la distància de mesura el més gran possible.



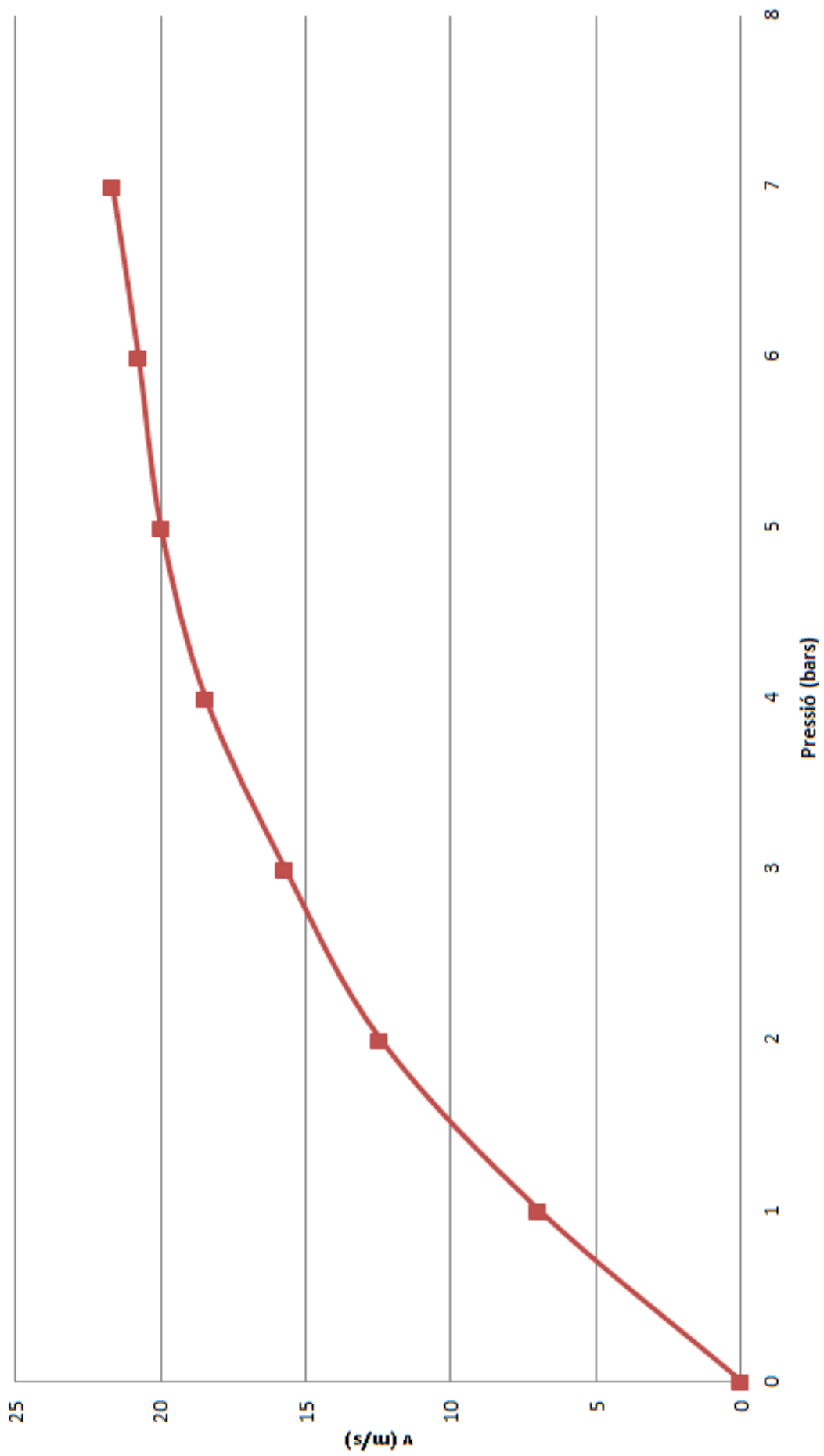
Imatge 5 Mesura de la velocitat de sortida

En aquest cas  $\Delta x = x_1 - x_0 = 1,4 - 0,3 = 1,1m$  i  $\Delta t = t_1 - t_0 = 10,99 - 10,79 = 0,2s$ . Per tant, si sabem que  $\Delta v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$  podrem calcular la velocitat  $\Delta v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{1,1}{0,2} = 5,5m/s$ .

Els resultats que s'han obtingut són:

Núm. de llançaments	Morro	Producte neteja (ml)	Pressió (bars)	Densitat (kg/m <sup>3</sup> )	V. ampolla (l)	V. fluid (l)	$\Delta t$ (s)	$\Delta x$ (m)	Velocitat (m/s)
10	-	0	1	1	2	0,5	0,17	1,2	6,96691176
12	-	0	2	1	2	0,5	0,13	1,3	12,4285714
5	-	0	3	1	2	0,5	0,1	1,6	15,7142857
5	-	0	4	1	2	0,5	0,13	2,4	18,4615385
5	-	0	5	1	2	0,5	0,13	2,2	20
3	-	0	6	1	2	0,5	0,1	2,4	20,7692308
3	-	0	7	1	2	0,5	0,07	1,6	21,6666667

# Pressió



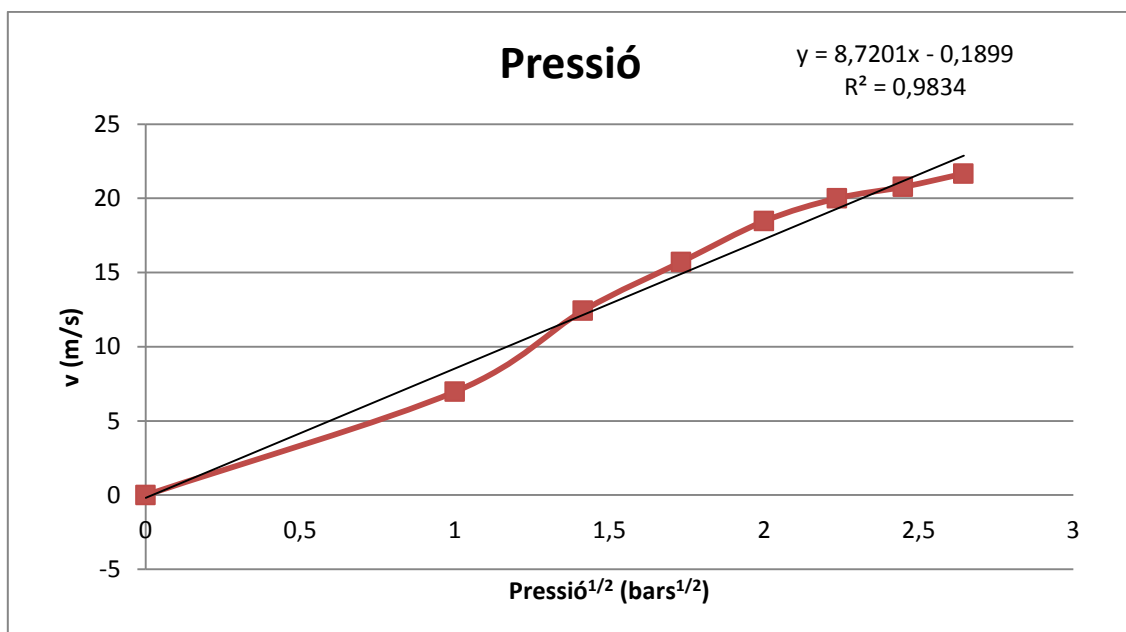
Gràfic 1

En el gràfic 1, es pot observar que s'han utilitzat valors de pressió des de 0 a 7 bars. Jo només sóc capaç d'arribar a introduir entre 3 i 4 bars de pressió dins de l'ampolla, com a màxim; per això que he demanat ajuda al meu pare per poder arribar fins a 7 bars.

S'arriba a la conclusió que com més elevada és la pressió, més energia s'acumula dins de l'ampolla i, per tant, es pot deduir que a mesura que augmenta la pressió inicial també augmenta la velocitat inicial, és a dir, com més pressió més velocitat inicial.

La mínima velocitat inicial,  $v_0=0\text{m/s}$ , es troba quan la pressió és igual a 0 i la màxima,  $v_0=21,67\text{m/s}$ , quan hi ha 7 bars; també, es pot veure que la velocitat inicial d'una pressió és més gran que la velocitat inicial d'una pressió inferior. Quan les velocitats inicials superen aproximadament els  $15\text{m/s}$ , en els fotogrames per saber la velocitat inicial l'ampolla no es veu definida i això fa que s'hagi de fer una aproximació.

Si s'hagués continuat fent llançaments a pressions superiors, es podria dir que la velocitat inicial continuaria augmentant successivament, ja que, la funció de la velocitat respecte la pressió recorda a la gràfica que fa una forma d'una funció irracional ( $f(x) = a\sqrt{x}$ ). Per això, si representem la funció  $v(\sqrt{P})$  la gràfica ens hauria de sortir una recta.



Gràfic 2

Tot i que, el gràfic anterior (gràfic 2) no és una recta, es considera que en una aproximació seria una recta; ja que, els punts segueixen la tendència.

Arribats a aquest punt si considerem que l'aigua és un fluid ideal, podem concloure que els resultats concorden amb el principi de Bernoulli.

## 2 Densitat del fluid

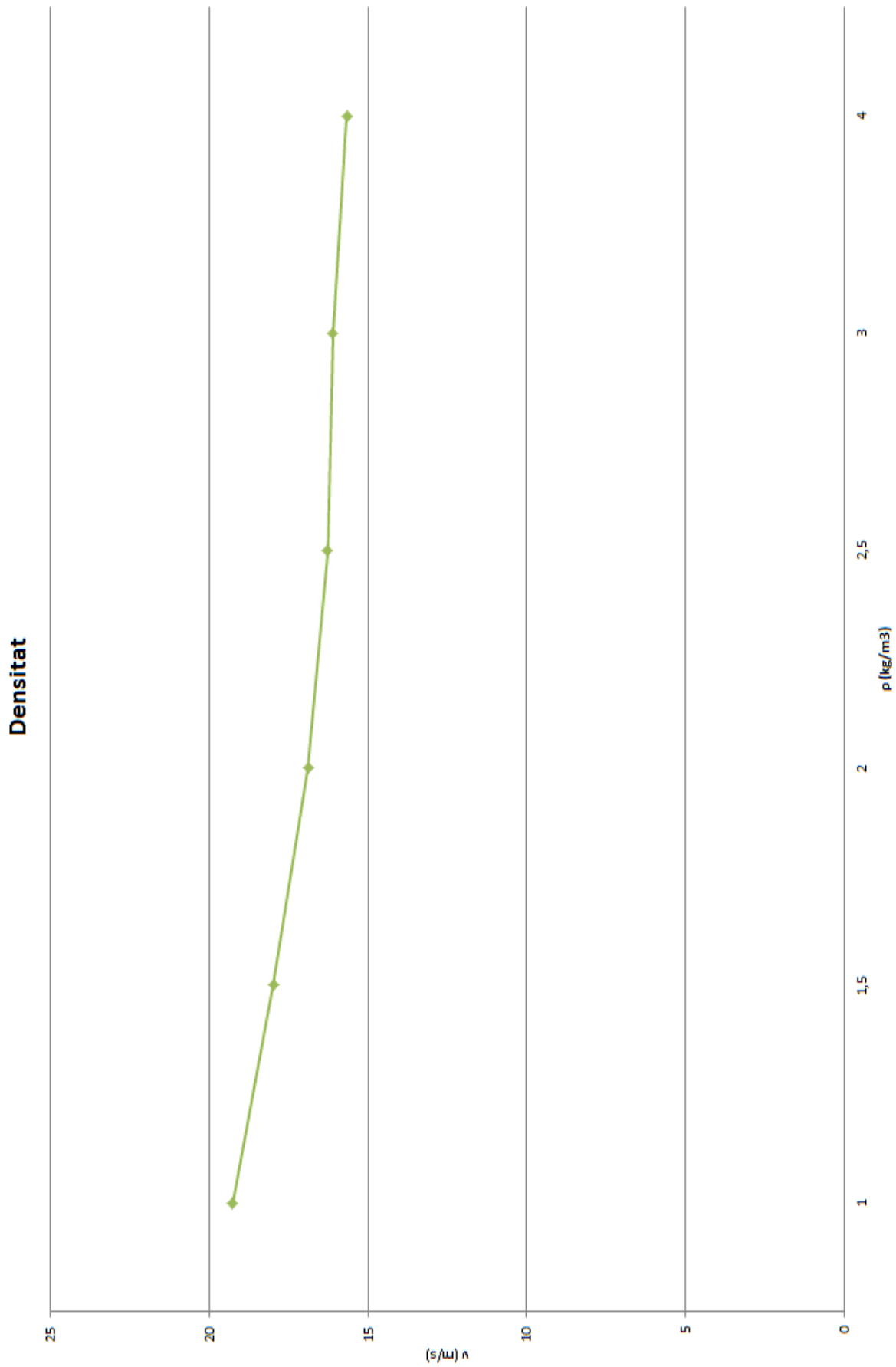
Per experimentar la densitat del fluid utilitzarem la mateixa metodologia que hem fet servir per la prova de la pressió. Tot i que per deduir quina és la densitat amb la qual el coet s'enlaira més podem utilitzar l'equació de Bernoulli, però la comprovarem mitjançant diversos llançaments.

Un dels líquids que té menor densitat és la benzina ( $\rho=0,73\text{kg/m}^3$ ), aquest seria el líquid ideal per fer les proves, però no el podem tirar a la natura sense precaució; els següents líquids amb una densitat baixa són l'alcohol i l'oli ( $\rho_{\text{alcohol}}= 0,79 \text{ kg/m}^3$  i  $\rho_{\text{oli}}=0,88 \text{ kg/m}^3$ ), però tampoc els podem tirar a la natura sense control. El líquid amb menor densitat que podem tirar a la natura és l'aigua ( $\rho_{\text{H}_2\text{O}}=1000 \text{ kg/m}^3$ ).

S'ha vist que no es poden fer les proves amb densitat més petita que  $1000\text{kg/m}^3$ , per tant, el que farem serà utilitzar densitats superiors. És per això, que utilitzarem diferents quantitats de farina de panís refinada. Tampoc s'utilitzaran altres líquids, com suc..., perquè les seves característiques (viscositat...) són diferents per cadascun dels líquids i fa que no es pugui crear un control, perquè hi intervenen moltes variables.

Tot i que sabem que l'ampolla surt amb més velocitat amb una pressió de 7 bars, en aquesta prova utilitzarem 2 bars; d'aquesta manera la velocitat inicial de l'ampolla serà inferior es podrà ser més rigorós a l'hora de calcular-la, perquè s'obté més informació. També s'ha tingut en compte la possibilitat de llastrar les ampolles (afegir-hi pesos), però hauria estat perillós, ja que es pot determinar el lloc de sortida però no el d'arribada.

Núm. de llançaments	Morro	Producte neteja (ml)	Pressió (bars)	Densitat ( $\text{kg/m}^3$ )	V. ampolla (l)	V. fluid (l)	$\Delta t$ (s)	$\Delta x$ (m)	Velocitat (m/s)
0	-	0	2	1	2,2	0,15	-	-	0
4	-	0	2	1	2,2	0,15	0,07	1,35	19,2857143
3	-	0	2	1,5	2,2	0,15	0,1	1,4	18
7	-	0	2	2	2,2	0,15	0,065	1,15	16,9047619
4	-	0	2	2,5	2,2	0,15	0,115	2	16,2740385
4	-	0	2	3	2,2	0,15	0,0775	1,25	16,125
4	-	0	2	4	2,2	0,15	0,13	2,2	15,6730769



Gràfic 3

En aquest cas els valors utilitzats de densitat oscil·len entre  $1000\text{kg/m}^3$ - $4000\text{kg/m}^3$  i estan representats respecte la velocitat inicial. Tot i que saber que la millor pressió és com més alta millor, s'han utilitzat 2 bars per poder analitzar millor les gravacions i obtenir dades més fiables, ja que sinó les velocitats inicials són elevades i no és tant exacte calcular la velocitat inicial. La mínima velocitat inicial obtinguda és  $15,67\text{m/s}$  quan la densitat és de  $4000\text{kg/m}^3$  i la màxima és  $19,29\text{m/s}$  quan la densitat és  $1000\text{kg/m}^3$ .

Tot i així, cal remarcar que la farina de panís refinada no forma una dissolució homogènia, sinó que forma un col·loide, per aquest motiu s'ha de preparar just abans del llançament perquè sinó la farina precipita i es queda dura. Per obtenir una dissolució homogènia, s'hauria d'utilitzar sal o sucre, però com que la solució es satura ràpidament, la variació de la densitat és pràcticament inapreciable, llavors el reactiu precipita com que està compost per grans més grossos que els de la farina, i per tant es crea més viscositat, que fa que el fregament augmenti i que la dissolució surti amb menys velocitat.

Aquest cop la velocitat inicial minva progressivament a mesura que la densitat augmenta. Tot i que, la variació de la velocitat inicial és petita ( $\Delta v = 3,613\text{m/s}$ ). La funció de la densitat recorda a una recta decreixent, és per això que si haguéssim pogut utilitzar densitats inferiors i superiors a les utilitzades seguirien la mateixa tendència.

També podem observar que l'equació de Bernoulli es compleix. La velocitat disminueix a mesura que augmenta la densitat del fluid; això vol dir que com més alta sigui la velocitat més baixa haurà de ser la densitat del fluid.

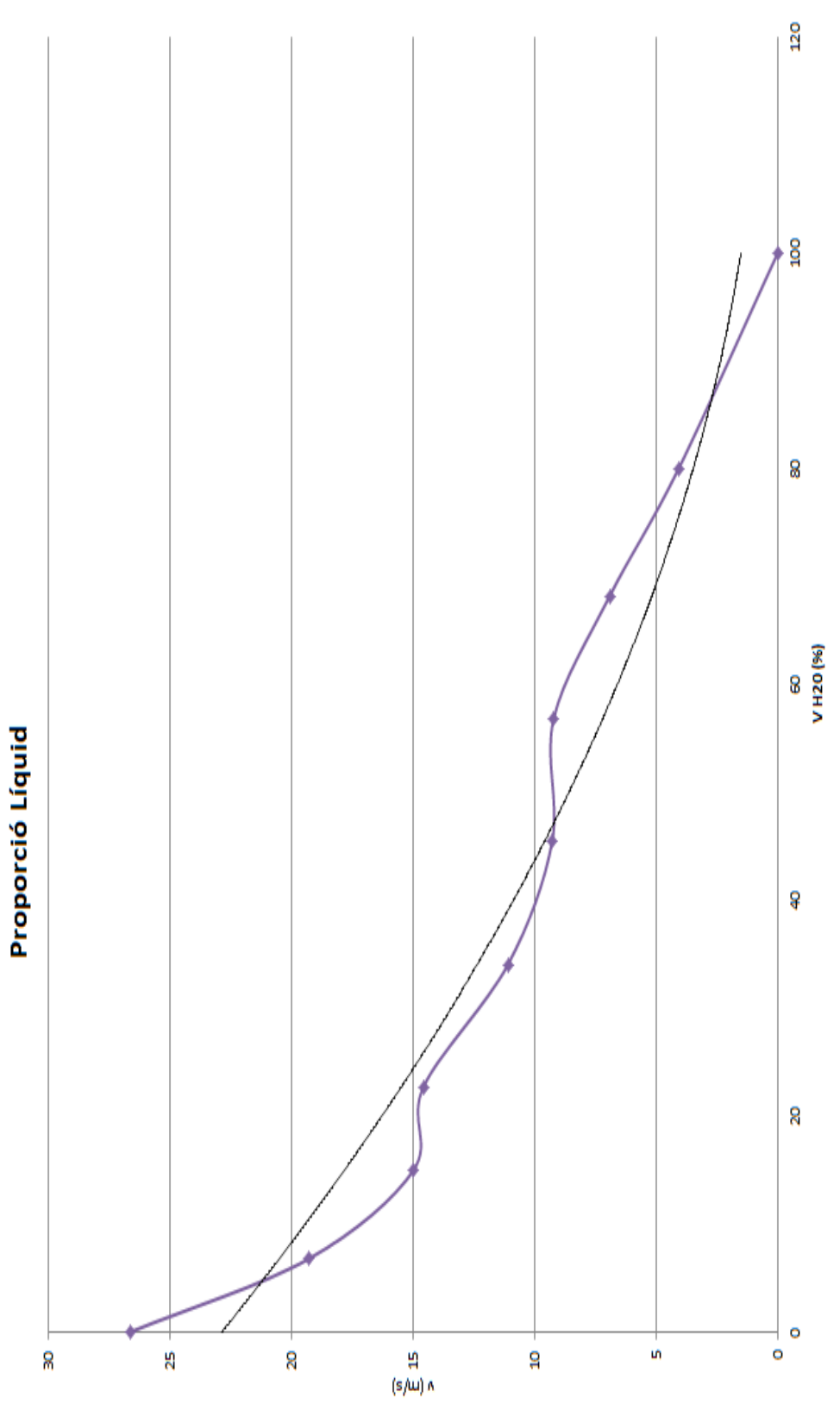


### 3 Proporció del fluid

En aquest apartat es vol esbrinar quina és la quantitat de líquid que s'ha d'introduir dins de l'ampolla perquè aconseguixi una velocitat inicial el més elevada possible. Es realitzaran un seguit de llançaments que mantindran constants les variables de pressió, volum de l'ampolla i densitat per poder analitzar com varia la proporció del fluid (aigua).

Els resultats obtinguts són els següents:

Núm. de llançaments	Morro	Producte neteja (ml)	Pressió (bars)	Densitat (kg/m <sup>3</sup> )	V. ampolla (l)	V. fluid (l)	$\Delta t$ (s)	$\Delta x$ (m)	Velocitat (m/s)
10	-	0	2	1	2,2	0	0,07	1,9	26,6666667
4	-	0	2	1	2,2	0,15	0,07	1,35	19,2857143
9	-	0	2	1	2,2	0,33	0,07	1	15
7	-	0	2	1	2,2	0,5	0,075	1,05	14,5833333
7	-	0	2	1	2,2	0,75	0,115	1,35	11,0989011
7	-	0	2	1	2,2	1	0,14	1,35	9,28571429
6	-	0	2	1	2,2	1,25	0,3	3,1	9,22727273
6	-	0	2	1	2,2	1,5	0,265	1,8	6,92307692
6	-	0	2	1	2,2	"2,2"	0,5	1,95	4,08333333



Gràfic 4

Aquest cop s'ha utilitzat una ampolla de 2,2l, una pressió de 2 bars, perquè tot i saber que la millor pressió és de 7 bars (com ja s'ha explicat a l'apartat de la pressió) la velocitat inicial és menor i el valor de la velocitat és més precís. Pel que fa referència a la densitat s'utilitzarà l'aigua, ja que la seva densitat és la millor.

El gràfic 4 ens mostra la velocitat inicial de l'ampolla en metres per segon (m/s) respecte el volum de fluid introduït dins de l'ampolla en tant per cent (%). La funció és decreixent en tots els punts del seu domini, tot i que, el pendent és diferent en tres parts ben diferenciades i entremig d'aquestes parts la funció continua decreixent però menys en cadascun dels trams. El primer tram (0-15%) és el que decreix més, a continuació, trobem el tram que va des de 22,73% al 45,45%, tot seguit trobem l'últim tram (56,82-100%) que és el que descens menys dels tres però més que les dues fases intermèdies (15-22,75% i 45,45-56,82%). El valor màxim de velocitat inicial és 26,67m/s quan l'ampolla està completament buida, i el valor mínim és 0m/s quan l'ampolla està totalment plena, això es degut a que l'aigua és un fluid incompressible i no es pot introduir aire.

Malgrat que aquests resultats s'han comprovats empíricament no diuen quina ampolla és la que arribarà a més altura, perquè en aquest cas s'ha de tenir en compte la propulsió líquida i la gasosa.

La propulsió "líquida" és una fase curta on s'expulsa tot el líquid de l'interior de l'ampolla. És una fase difícil de modelar ja que tots els paràmetres van canviant simultàniament.

La propulsió "gasosa" o "suau" tot i que sigui, principalment, un coet d'aigua, també trobem aire comprimit que es el responsable que surti propulsat enl'aire. Un cop ha sortit tot el líquid, queda una mica d'aire comprimit que també surt, però l'aire no és un fluid incompressible com l'aigua, la compressibilitat de l'aire també fa que els paràmetres siguin variables. Aquesta fase és més ràpida que la propulsió líquida.

Per tant, es pot concloure que assoleixen abans la seva velocitat màxima aquelles ampolles que contenen menys quantitat de fluid en el seu interior. En el gràfic la velocitat inicial és més elevada com menys fluid conté l'ampolla; per tant, la velocitat en els dos primers metres és superior perquè el punt on s'assolirà velocitat màxima es troba a menys altura.

Analitzant només les gravacions realitzades des de més a prop no es pot determinar quina és la quantitat de fluid més idoni per assolir la màxima alçada, però això utilitzarem les gravacions més llunyanes.

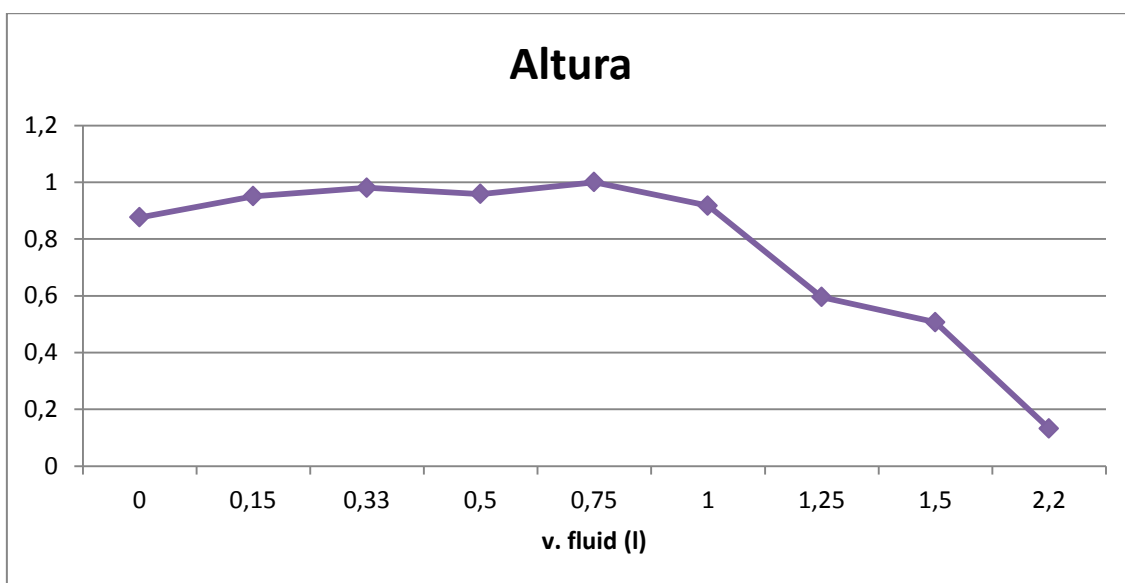


Imatge 6 Alçada màxima

La imatge anterior (imatge 6) mostra alguns dels llançaments realitzats, enregistrats des de lluny. Com que seria molt complicat mesurar l'altura, es realitza un estudi comparatiu entre les altures màximes assolides, en diferents quantitats inicials de fluid. Aquestes quantitats estan esmentades a la part superior de la imatge (números). Cal remarcar que per dur a terme

aquesta prova s'ha hagut de pintar l'ampolla amb pintura en esprai de color vermell fosc perquè de color transparent no s'hagués pogut determinar tota la seva trajectòria ja que no es veia.

La imatge 6 mostra que a mesura que s'afegeix aigua dins de l'ampolla l'altura creix progressivament, fins que s'arriba a 0,75l que és el punt de màxima alçada. A partir dels 0,75l d'aigua, l'alçada màxima disminueix molt ràpidament. Les dades obtingudes per mitjà de la imatge anterior s'han traspassat al gràfic, mesurant les distàncies respecte el terra, i han estat representades respecte l'altura màxima assolida (tant per 1).



Gràfic 5

El punt màxim es troba quan s'han introduït 0,75l d'aigua. Com que les proves es van realitzar amb una ampolla de 2l, sabem que 0,75l són 37,5% del volum de l'ampolla. És aquesta proporció de líquid i gas (37,5% aigua i 62,5% aire) la que proporciona l'altura màxima.

Si utilitzéssim altres tipus d'ampolles els resultats mostrarien que l'ampolla ha d'estar plena entre un 35%-45% de la seva capacitat total; ja que, les dades obtingudes no són aplicables a tots els coets o ampolles, sinó que la proporció entre el líquid i el gas depèn de diversos factors: el pes del coet (buit), l'àrea quadrada del coet (diàmetre del coet), el diàmetre de la boca, la pressió i el coeficient de fregament.

#### 4 Volum de l'ampolla

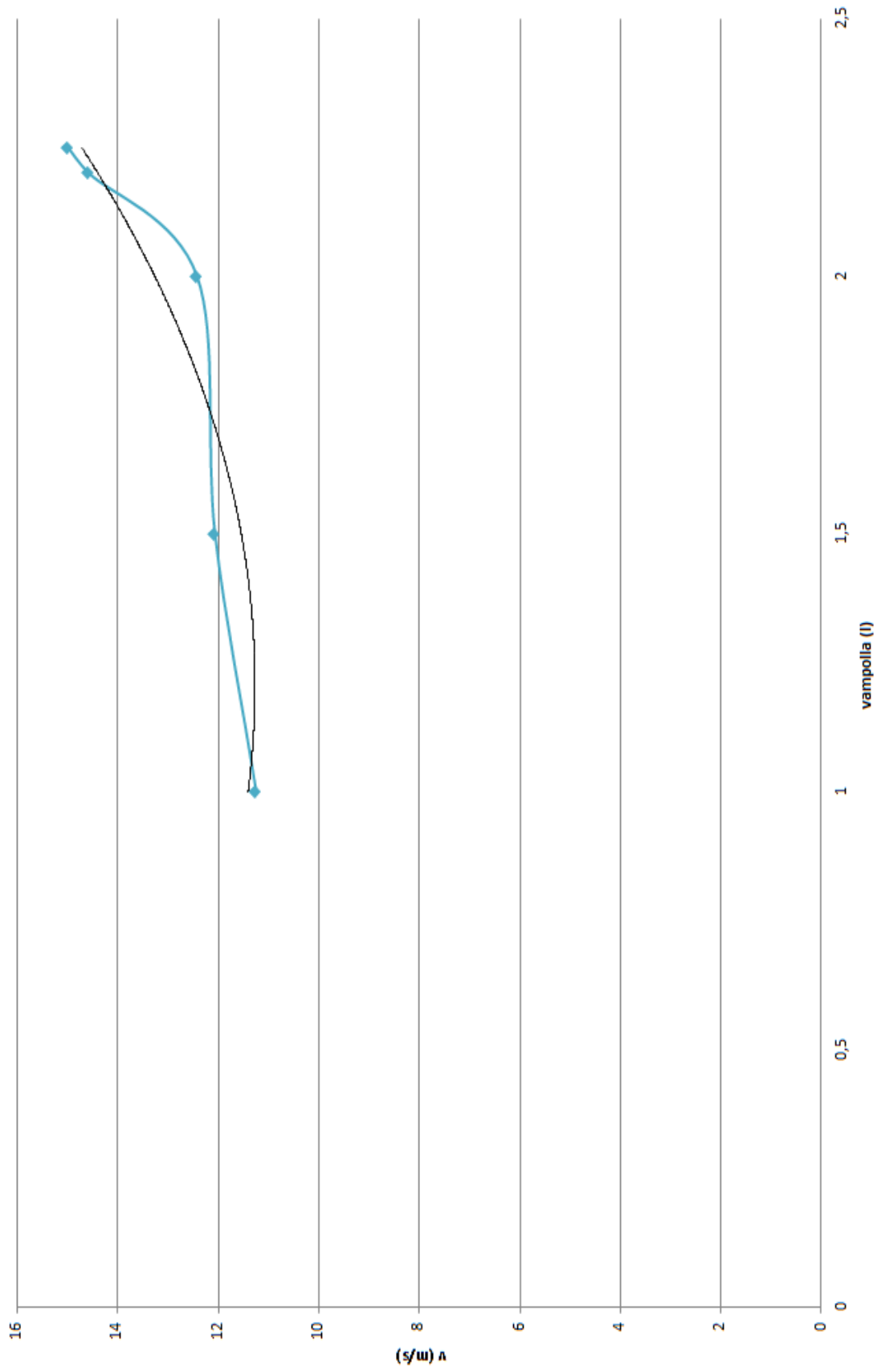
En aquest apartat, es vol descobrir és quin és el volum de l'ampolla fa que l'amolla aconseguixi una major altura.

Només es podran utilitzar aquelles ampolles que tinguin la boca de mida estàndard (1,9 cm  $\varnothing$ ), perquè sinó no es poden ajustar a la llançadora correctament. Tampoc es podran utilitzar aquelles ampolles que la seva llargada o altura sigui inferior a 28,3 cm, perquè la llançadora necessita el tub de 30cm (com el tub està unit a un connector, la part del tub que queda descoberta és inferior) ja que serveix de guia perquè les ampolles surtin amb un moviment rectilini.

Els resultats obtinguts dels llançaments, on s'han mantingut les variables constants exceptuant el volum de l'ampolla i analitzant les gravacions com ja s'ha explicat, són:

Núm. de llançaments	Morro	Producte neteja (ml)	Pressió (bars)	Densitat (kg/m <sup>3</sup> )	V. ampolla (l)	V. fluid (l)	$\Delta t$ (s)	$\Delta x$ (m)	Velocitat (m/s)
7	-	0	2	1	1	0,5	0,14	1,8	11,25
4	-	0	2	1	1,5	0,5	0,135	1,55	12,0714286
12	-	0	2	1	2	0,5	0,13	1,3	12,4285714
7	-	0	2	1	2,2	0,5	0,075	1,05	14,5833333
5	-	0	2	1	2,25	0,5	0,13	1,9	15

## Volum ampolla



Gràfic 6

Cal remarcar que és molt difícil trobar ampolles amb les característiques esmentades anteriorment que tinguin una gran varietat de volum; és per això que en aquesta prova no s'han obtingut molts valors.

El gràfic mostra la velocitat inicial respecte el volum de l'ampolla (entre 1l i 2,25l). El pendent de la funció és sempre positiu, malgrat que en el primer tram (1-2l) és molt menys pronunciat que en el segon tram (2-2,25l). La velocitat mínima es troba quan el volum l'ampolla és d'1 litre,  $v_0=11,25\text{m/s}$ , i la velocitat màxima,  $v_0=15\text{m/s}$ , quan l'ampolla és de 2,25l. Podem deduir que com més gran és l'ampolla més gran serà la velocitat inicial, és a dir com més augmenta el volum de l'ampolla més gran és la velocitat inicial.

Tot i així, per culpa de la manca de material el nombre de proves ha estat limitat i per això, no es pot assegurar fins a quin punt l'afirmació anterior és vertadera.



## 5 Viscositat

En aquest cas, es variarà la tensió superficial, mitjançant un producte de neteja que el que fa bàsicament és disminuir la tensió superficial, gràcies als tensioactius per els quals està compost; això fa que augmenti la superfície de contacte de l'aigua amb el sòlid, en condicions normals s'utilitza per el seu poder humectant, però s'utilitzarà perquè fa que l'aigua rellisqui més fàcilment.

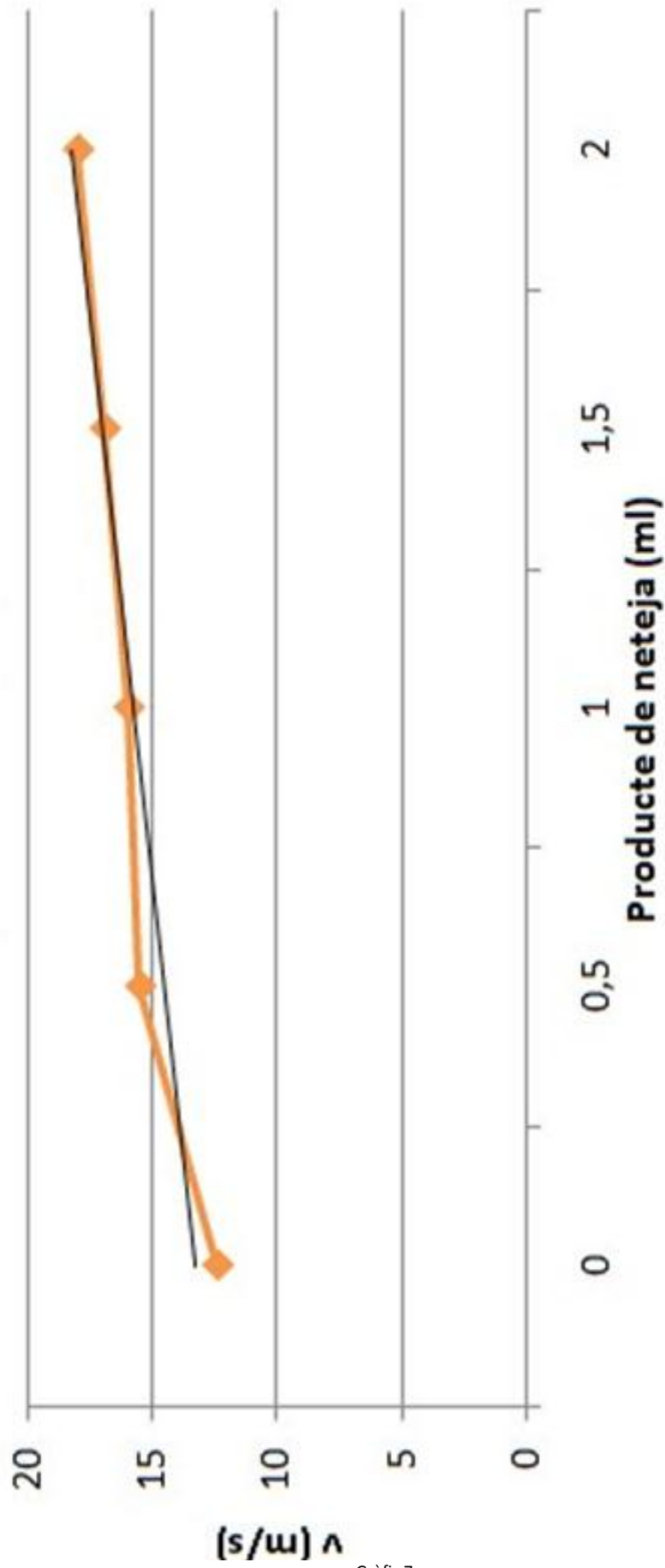
La tensió superficial és la manifestació de les forces de cohesió moleculars d'un líquid en la superfície de separació amb un altre medi, tendeix a tenir la forma mínima d'energia potencial. Es pot determinar experimentalment i s'expressa en  $N/m$  o  $J/m^2$ . La tensió superficial depèn de la naturalesa del líquid, del mitjà que l'envolta i de la temperatura.

En els llançaments realitzats es mantindran totes les variables pertorbadores constants (pressió, densitat, quantitat de líquid, volum de l'ampolla) i variarem només la quantitat de producte de neteja. Tot i que, es sap que el producte de neteja varia la densitat de l'aigua quan se li afegeix el producte, la densitat varia tant poc que considerem que la densitat és la de l'aigua en totes les proves. En aquest cas, tampoc s'utilitzaran les condicions més idònies de les característiques anteriors sinó que es realitzaran perquè després s'obtinguin unes dades més fiables.

Els resultats obtinguts són:

Núm. de llançaments	Morro	Producte neteja (ml)	Pressió (bars)	Densitat (kg/m <sup>3</sup> )	V. ampolla (l)	V. fluid (l)	$\Delta t$ (s)	$\Delta x$ (m)	Velocitat (m/s)
12	-	0	2	1	2	0,5	0,13	1,3	12,4285714
3	-	0,5	2	1	2	0,5	0,13	1,8	15,5164835
3	-	1	2	1	2	0,5	0,1	1,7	15,974359
3	-	1,5	2	1	2	0,5	0,13	2,2	16,9230769
3	-	2	2	1	2	0,5	0,1	1,8	18

# Viscositat



Gràfic 7

S'han utilitzat diferents valors de tensió superficial, des de la que presenta l'aigua en la seva naturalesa fins a 2 ml de producte, que correspon a les velocitats que oscil·len entre 12 i 18 m/s.

A mesura que s'afegeix producte la velocitat augmenta successivament, aproximadament 1,254 m/s per cada 0,5ml de producte, que només conté un 5% de tensioactius, que serien 0,025ml de tensioactius. Per tant, és més correcte dir que la velocitat augmenta  $\frac{1,254m/s}{0,025ml \text{ tensioactiu}} = \frac{50,16 m/s}{1ml \text{ tensioactiu}}$ . Això només es compliria en els valors estudiats experimentalment, ja que si s'hagués estudiat aquest efecte amb més valors de producte, podria ser que s'hagués trobat que a partir d'una concentració concreta de tensioactiu la velocitat no augmentava, o augmentava molt poc. Els experiments no s'han pogut realitzar en més concentracions de producte degut a que si s'augmentava més la concentració, la densitat variava i llavors no es podia considerar constant la densitat, fet que feia que es tinguessin dues variables diferents per analitzar.

## 6 Resistència aerodinàmica

Shape	Drag Coefficient
Sphere	0.47
Half-sphere	0.42
Cone	0.50
Cube	1.05
Angled Cube	0.80
Long Cylinder	0.82
Short Cylinder	1.15
Streamlined Body	0.04
Streamlined Half-body	0.09

Measured Drag Coefficients

- 2 ampolles de plàstic (idèntiques/molt similars)
- Cartró
- Cinta adhesiva

Es buscaran entre les diferents ampolles la que tingui menys fregament amb l'aire. L'ideal seria el cos aerodinàmic ja que té un coeficient de fregament de 0,04, però les ampolles no tenen aquesta forma. Tot i així, es buscarà l'ampolla que tingui aquest coeficient el més petit possible realitzant diversos llançaments.

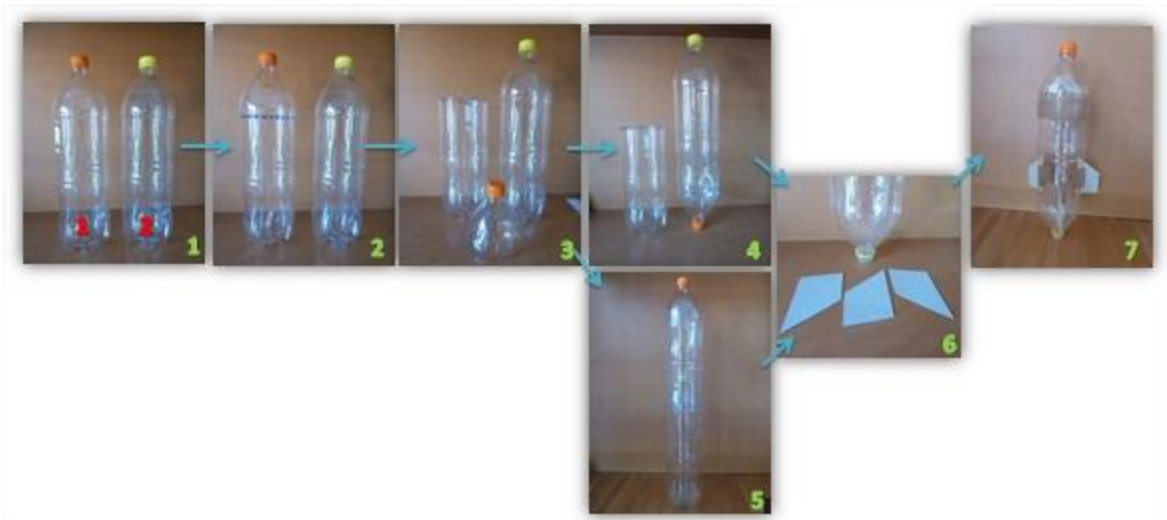
Tot i així, abans de començar, s'ha de construir un coet.

Per poder construir un coet d'aigua he utilitzat diverses fonts d'internet, n'hi havia de molt diferents però la que m'ha semblat més adequada i que s'utilitzarà és la que s'explica a continuació.

El material que necessitem és:

Primer de tot agafem l'ampolla 1 (f. 1) i la tallem per la punta el més recte possible amb unes tisores (f. 2 i 3). A continuació, agafem la punta tallada de l'ampolla 1 i la posem a la part inferior de l'ampolla 2 i l'enganxem amb cinta adhesiva (f. 4). Tot seguit en el cartró dibuixem els alerons, amb un disseny lliure, i els retallem (f. 6). És millor que només en fem entre 3 i 4 alerons perquè menys de 3 no donen suficient estabilitat i, més de 4, provoquen massa fregament amb l'aire. Enganxem els alerons a les ampolles, de manera que la punta de l'ampolla 1 sigui la punta o el principi del coet i l'ampolla 2 sigui la part posterior, amb cinta adhesiva (f. 7).

La construcció presenta una variable per poder augmentar la capacitat del coet. Un cop s'ha tallat la punta de l'ampolla 1, aquesta s'enganxa a la part inferior de l'ampolla 1 amb cinta adhesiva. A continuació, s'enganxen les dues parts inferiors de les ampolles, el cul de l'ampolla 1 amb el cul de l'ampolla 2, també amb cinta adhesiva (f. 5). A partir d'aquí, ja es poden enganxar els alerons a l'ampolla 2 que és la que fa de part posterior (f. 6).



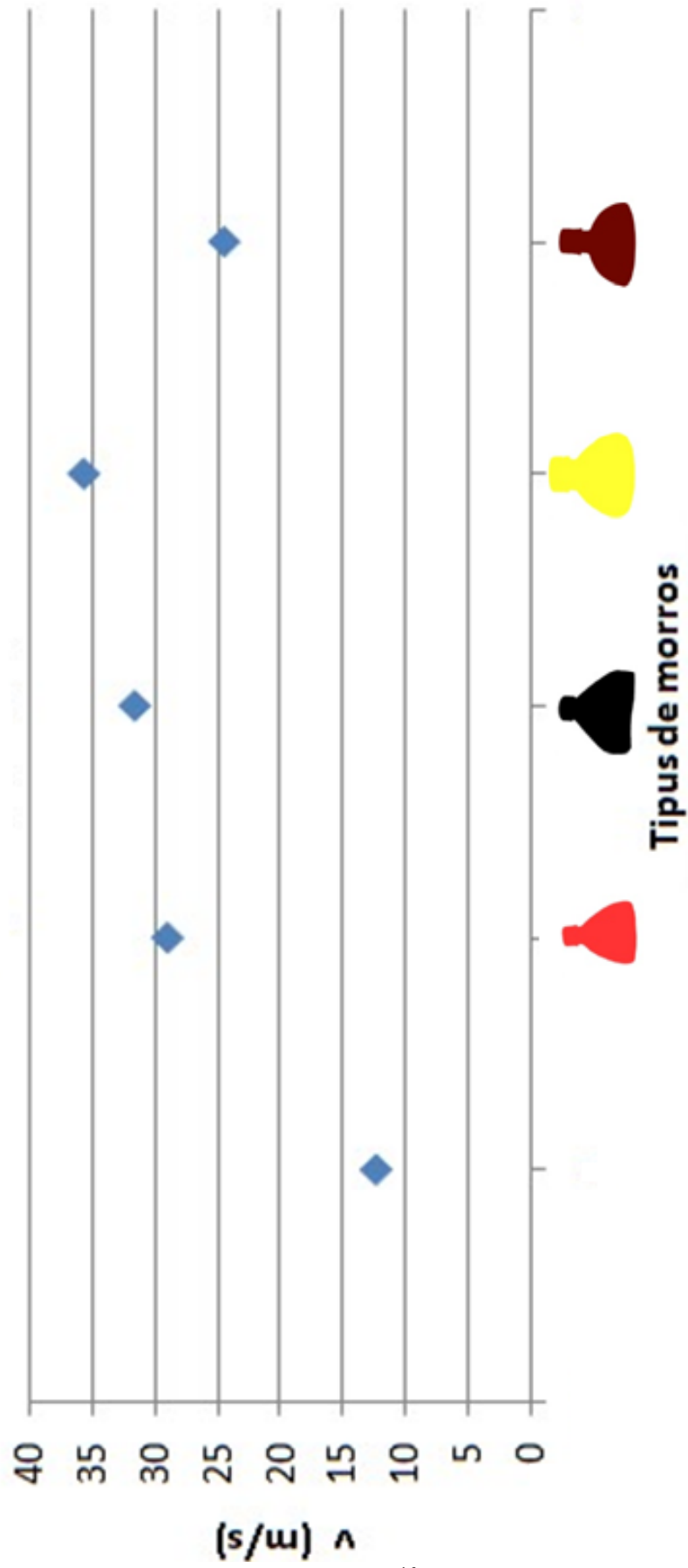
Imatge 7 Fabricació del coet

Perquè la fase de vol sigui més estable, se li pot afegir un pes al nas del coet (morro), això farà que la trajectòria del coet sigui més definida i no varii exageradament segons els corrents d'aire. En aquest cas no li se li afegirà aquest pes perquè fa que el coet sigui més perillós quan cau; com que tot els llançaments es realitzen en espais públics no es vol que ningú prengui mal.

Els resultats que s'han obtingut han estat:

Núm. de llançaments	Morro	Producte neteja (ml)	Pressió (bars)	Densitat (kg/m <sup>3</sup> )	V. ampolla (l)	V. fluid (l)	$\Delta t$ (s)	$\Delta x$ (m)	Velocitat (m/s)
12	-	0	2	1	2	0,5	0,13	1,3	12,4285714
4	taronja	0	2	1	2	0	0,065	1,9	29,047619
4	negre	0	2	1	2	0	0,035	0,95	31,6666667
4	groc	0	2	1	2	0	0,065	2,5	35,7142857
4	vermell	0	2	1	2	0	0,07	1,65	24,5238095

# Aerodinàmica



Gràfic 8

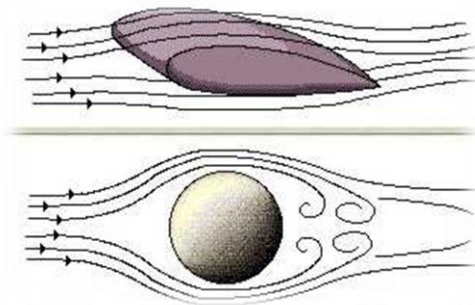
Com s'observa al gràfic s'han utilitzat quatre morros diferents per determinar quin és el que presenta menys fregament amb l'aire. A primera vista és podria dir que el més aerodinàmic seria el morro de color taronja ja que és el que s'assembla més al cos aerodinàmic.

Després de realitzar els llançaments s'observa que el cos més aerodinàmic no és el taronja, com havíem intuït inicialment, perquè és molt angulós, això fa a que l'aire entra en contacte amb tota la superfície del morro del coet i causi més fregament.

El morro de color negre, és similar al de color taronja tot i que en comptes de ser arrodonit, és més aviat punxegut; per això el seu coeficient de fregament és inferior a 0,5 i inferior al del taronja.

Presenta més fregament l'ampolla que no porta cap morro, ja que s'assembla més a un cos aerodinàmic invertit, per tant, l'únic que fa és oposar-se al moviment. La forma que presentaria no és com cap de les presentades anteriorment (imatge ), per tant, no podem determinar quin seria el seu coeficient de fregament.

La diferència entre morro vermell i el groc són que el vermell és més baix, presenta una sèrie d'incisions verticals i el tap és petit. En canvi, el groc aconsegueix arrodonir-se en una altura més gran i el tap també és més gran, però no té incisions. Aquestes diferències fan que el morro de color groc presenti menys fregament amb l'aire; ja que l'aire no frega amb tota la superfície degut a la seva forma.



Imatge 8 Perfil alar

## Conclusions

S'han aconseguit els tres objectius proposats:

1. Ampliar els meus coneixements sobre els coets.
2. Construir una llançadora prou sofisticada per poder realitzar tots els llançaments
3. Determinar quin és el millor coet.

Després d'haver realitzat totes les proves necessàries s'ha pogut comprovar que les condicions idònies perquè un coet d'aigua assoleixi la major altura són:

- Pressió:  $\geq 7$  bars
- Densitat:  $\leq 1 \text{kg/m}^3$
- Proporció del líquid: 37,5% (aproximadament)
- Volum de l'ampolla:  $\geq 2,25$ l
- Viscositat: 2ml de producte de neteja (5% tensioactius)
- Aerodinàmica: morro groc

Amb les següents característiques s'ha realitzat l'última prova, perquè donen lloc al "millor" coet:

Núm. de llançaments	11
Morro	groc
Producte neteja (ml)	2
Pressió (bars)	2
Densitat ( $\text{kg/m}^3$ )	1
V. ampolla (l)	2,25
V. fluid (l)	0,85
$\Delta t$ (s)	0,1
$\Delta x$ (m)	4,2
Velocitat (m/s)	42



## Glossari

- Acceleració gravitatòria: acceleració d'un cos causada per la força de la gravetat.
- Cilindre hidràulic: dispositius mecànics destinats a regular o variar la potència d'un automatisme (actuadors mecànics). Són utilitzats per aplicar una força al llarg d'un recorregut lineal. S'obté l'energia d'un fluid hidràulic pressuritzat, que és típicament algun tipus d'oli, o en aquest cas, l'aigua.
- Col·loide: tipus de mescla que es caracteritza per la mida petita de les partícules que fan que en la dissolució es quedin en suspensió. Conté dues fases: la dispersa ("solut", en menor quantitat) i la dispersant (en major quantitat). Respon a l'efecte Tyndall (la llum quan passa a través es dispersa). Són col·loides la boira (aire + aigua), la llet (aigua + grassa)...
- Compressibilitat: Canvi relatiu de volum d'una substància per unitat de pressió.
- Corrosió: Deterioració superficial dels metalls per agents químics.
- Densitat ( $\rho$ ):  $\rho = \frac{m}{V}$ , Quantitat de massa per unitat de volum.
- Dissolució homogènia: tipus de mescla on els components que forment la mescla no es poden distingir. Qualsevol punt de la mescla té les mateixes propietats i composició. També es pot anomenar dissolució o mescla homogènia.
- Dissolució saturada: és una dissolució aquosa que conté tot el solut que pot dissoldre l'aigua. Si afegíssim més solut hi hauria solut que no es dissoldria i precipitaria; aquesta dissolució sobresaturada s'hauria de filtra per obtenir-ne una de saturada.
- Programa Apollo: tenia com a primer objectiu que astronautes sobrevolessin el voltant de la lluna, però va canviar per enviar un home a la lluna i tornés viu. Aquest fet es va aconseguir el 20/7/1969 a bord de l'Apollo 11.
- Tensioactius: denominació genèrica dels composts orgànics que presenten, quan són dissolts en aigua o en una dissolució aquosa, la propietat de reduir la seva tensió superficial.
- Viscositat: resistència que ofereixen tots els fluids, i alguns sòlids, quan canvien la seva forma sota l'acció de forces exteriors; ja que li costa més fluir. No depèn de la densitat. Ex: l'aigua és menys viscosa que l'oli tot i que l'aigua és més densa que l'oli.

## **Bibliografia**

- SERRA, Salvador, ARMENGOL, Montserrat i MERCADÉ, Joan. *Física 1 · Batxillerat*. Aravaca (Madrid): McGraw-Hill, 2008.
- AAVV. *Gran Enciclopèdia Catalana (volum 7)*. 28 vol. Barcelona: Enciclopèdia Catalana, 1987.
- AAVV. *Jornades científiques de Mataró*. (en línea). <http://www.xtec.cat/jornadescientifiquesmataro/docs/publicacio2006.pdf> (3/12/12).
- Waterboy, [www.water-rocket.com](http://www.water-rocket.com) *is rocket science. Resouces for Students, Hobbysists, and Teachers*. (en línea). <http://www.water-rockets.com/> (6/12/12)
- LAPIDUS, R. *El "coet" de Torricelli*. (en línea). <<http://www.meet-physics.net/AFco-catala/dinamica/deposito/deposito.htm>> (1/7/12)
- TPE. *Les fusées à eau*. (en línea). <http://tpe-les-fusees-a-eau.servhome.org/spip.php?article4> (6/7/12)
- RUIZ, José Maria. *Propulsió a raig. Una EUSSperiència física*. (en línea). [http://www.euss.cat/web/padd/ca/open/1304522278.17b9169a73140664b3da2149e8859cd2.pdf/EUSSperiencia01\\_v04.pdf](http://www.euss.cat/web/padd/ca/open/1304522278.17b9169a73140664b3da2149e8859cd2.pdf/EUSSperiencia01_v04.pdf) (7/12/12)
- GARCIA, Eduard. *1. Realització d'un coet propulsat per aigua a pressió*. (en línea). <http://www.xtec.cat/iesilladerodes/eduard/coet.htm> (7/12/12)
- XTEC. *Fisbric. Coet d'aigua o aire. Construcció del coet*. (en línea). [http://www.xtec.cat/~jpont/fisbric/fisbric\\_files/coet/coet.htm](http://www.xtec.cat/~jpont/fisbric/fisbric_files/coet/coet.htm) (15/6/12)
- WIKIPÈDIA. *Coet d'aigua*. (en línea). [http://ca.wikipedia.org/wiki/Coet\\_d%27aigua](http://ca.wikipedia.org/wiki/Coet_d%27aigua) (6/7/12)
- CONNOLLY, Eduard. *Es racó des PT. Coets d'aigua*. (en línea). <http://pedagogoterapeuta.blogspot.com.es/2011/10/coets-daigua.html> (7/12/12)
- PARERA-LÓPEZ, Juan. *La construcción de un cohete de agua y su aplicación didáctica*.(en línea). <http://www.slideshare.net/aguada.gras/la-construccin-de-un-cohete-de-agua-y-su-aplicacin-didctica> (7/12/12)

## **Annexos**

En el CD adjunt es troben tots els vídeos utilitzats per els càlculs que s'han fet i el document que els organitza.