UNIVERSIDAD DE OVIEDO

E.P.S. Ingeniería de Gijón
Ingenieros Industriales 3er curso

Curso 2006-2007

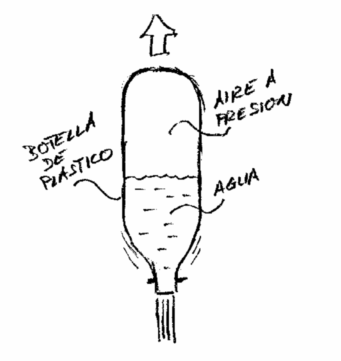
SEMINARIOS DE MECÁNICA DE FLUIDOS

S5: Propulsión Hidrodinámica
"lanzamiento botella"

INDICE

1. INTRODUCCIÓN

La propulsión a chorro está basada en la conservación de la cantidad de movimiento del conjunto proyectil – chorro de propulsión. Si desde un proyectil sale hacia atrás un chorro de fluido con una cierta velocidad, el proyectil adquiere la misma cantidad de movimiento en sentido contrario. Cuanto mayor sea el caudal másico y la velocidad del chorro, y menor la masa del proyectil, mayor será la velocidad que alcanza.



En los cohetes, el chorro de fluido se consigue por medio de una combustión, pero para obtener una propulsión elemental no es necesaria la combustión. Se puede utilizar, por ejemplo, aire comprimido.

Un caso conocido: Si se suelta un globo hinchado, el aire impulsado hacia atrás por la presión interior empuja el globo hacia delante. Aquí se va a utilizar una botella de plástico en posición invertida, parte llena con agua y el resto con aire a presión. Al soltar el tapón, el aire a presión empuja al agua, haciéndola salir con una velocidad elevada. Como la densidad del agua es alta, la cantidad de movimiento que se consigue es alta. Al acabar de salir el agua, el escape del aire proporciona un incremento de la cantidad de movimiento. Cuando ha terminado la fase de propulsión, la botella, vacía y con muy poco peso, tiene una velocidad elevada que permite lanzarla a gran distancia.

2. CONTENIDO DE LA PRÁCTICA

Definición

La práctica consiste en realizar los cálculos necesarios, preparar una botella y para lanzarla de manera que alcance (ella sola) una **distancia horizontal de 60m**. Se primará tanto la exactitud en la distancia alcanzada como en los cálculos. La máxima presión de aire que se puede introducir es de 3 kg/cm^2. Al lanzarla hay que utilizar los resultados obtenidos en los cálculos, claro.

Fecha y lugar

El martes 23 de enero en el horario establecido para cada grupo (ver anexo final).
En el "prao" enfrente de los edificios departamentales de la zona oeste.

Requisitos y disponibilidades

Grupos de 5 alumnos (ver anexo final).

Cada grupo presentará un informe de los cálculos; para los que se podrá utilizar cualquier sistema y programa informático que los participantes puedan conseguir[1].

Cada grupo realizará un lanzamiento con una botella preparada por sus componentes.

En cuanto a la rampa de lanzamiento y el tapón con el sistema de llenado de aire; se podrá usar cualquier tipo de rampa y/o tapón construido por los participantes de tres grupos consecutivos (vera anexo final). Como hay 30 grupos, se tendrán 10 rampas:

[1] Se advierte que los cálculos son de por sí bastante complicados, sin necesidad de utilizar un ordenador.

Rampa 1: grupos 1, 2 y 3
Rampa 2: grupos 4, 5 y 6
Rampa 3: grupos 7, 8 y 9
Rampa 4: grupos 10, 11 y 12
Rampa 5: grupos 13, 14 y 15
Rampa 6: grupos 16, 17 y 18
Rampa 7: grupos 19, 20y 21
Rampa 8: grupos 22, 23 y 24
Rampa 9: grupos 25, 26 y 27
Rampa 10: grupos 28, 29 y 30

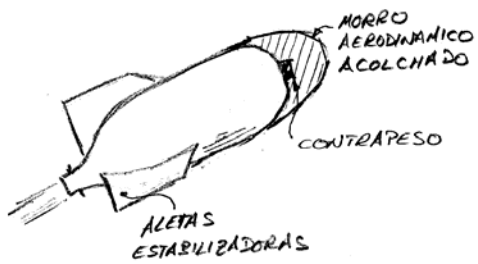
Informe (escrito a mano)

En la primera página del informe deberán constar los nombres de los miembros del equipo y los resultados de los cálculos: volumen de agua, presión inicial del aire y ángulo de lanzamiento.
En el informe se deberán incluir todos los datos: peso de la botella vacía, etc., y los cálculos de forma detallada: forma de realizarlos, hipótesis, simplificaciones... (No hace falta copiar la deducción de las fórmulas que se dan en estos apuntes y sí hace falta justificar las simplificaciones).

3. ALGUNOS DATOS

Botella

La botella tiene que ser de plástico. Son válidas la mayoría de las utilizadas para refrescos, pero no lo suelen ser las de agua mineral; además, la presión máxima que soportan estas últimas puede no ser suficiente (el resultado, a partir de unos 3 bar, es bastante espectacular).
Como mínimo, la botella deberá estar provista de una proa ("morro") de corcho o espuma en la parte delantera según la dirección de avance, con el fin de evitar desgracias personales en caso de mala puntería (alguien habrá cerca de la zona de impacto para medir la distancia).



Aerodinámica de la botella

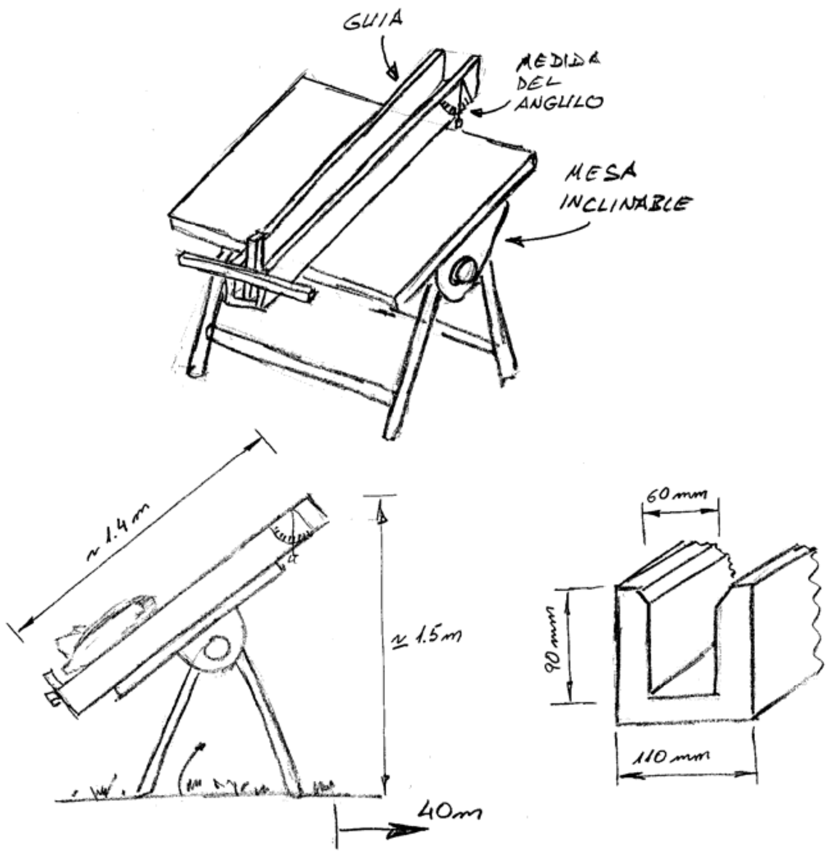
Para favorecer la estabilidad y la aerodinámica durante el vuelo son útiles los siguientes medios:

- Proa redondeada.
- Centro de gravedad adelantado. Se puede lastrar ligeramente la botella en la zona del morro, pero siempre primando la seguridad.
- Aletas estabilizadoras rectas en la parte posterior. Hay que tener cuidado de que no interfieran con el tapón ni con la rampa.

Otra posibilidad consiste en aletas curvas que impriman velocidad de giro a la botella. La estabilidad se consigue en este caso por efecto giroscópico. También se consigue una desviación de la trayectoria por efecto de la aceleración de Coriolis, pero es menos importante.

Rampa

En el Laboratorio de Hidrodinámica, se dispone de una rampa (puede servir como modelo) formada por una mesa que se puede colocar con cualquier ángulo de inclinación entre 0º y 90º. Una plomada permite ajustar este ángulo con una precisión de 1º. Sobré la mesa está dispuesta una guía en forma de U con las dimensiones abajo indicadas. La altura aproximada del punto de salida de la rampa es de 1.5 m y la longitud de la guía es de alrededor de 1.4 m.



Presión del aire

Se dispondrá de un sistema para introducir el aire a presión a través del tapón. El sistema tiene acoplado un manómetro para medir la presión, con una escala entre 0 y 6 kg/cm^2, con divisiones cada 0.1 kg/cm^2. (Nota al pie[2]).

No se puede utilizar más de 3 kg/cm^2 debido a los problemas de estanqueidad y de apertura.

Volumen de agua

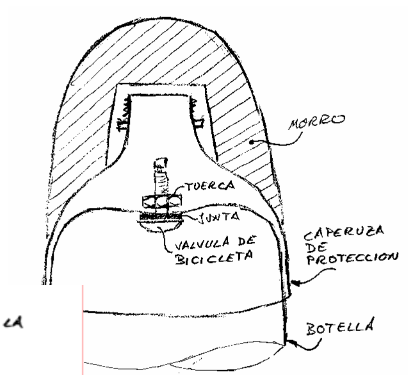
Cada equipo deberá presentar la botella con la cantidad de agua que vaya a utilizar ya medida. Se aconseja llevar un repuesto para el caso de que haga falta repetir el lanzamiento.

[2] Debido a los sistemas de medida disponibles y a las aproximaciones que se verán posteriormente, se premiará con el diploma de "Pardillo grado B" a todo aquel que dé los resultados con una precisión mayor de uno o dos decimales.

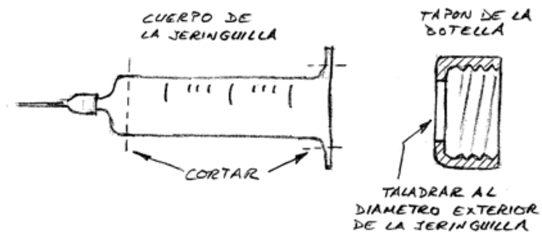
4. IDEAS SOBRE TAPONES

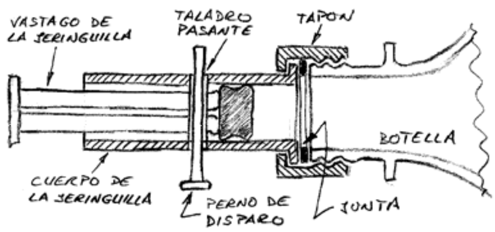
La parte más complicada de la realización práctica es el tapón que mantenga un cierre eficaz con las presiones utilizadas y, a la vez, una apertura instantánea sin trabas. Aparte de esto, a través del tapón se puede realizar el llenado del aire a presión, lo que representa una dificultad añadida.

Para simplificar el tapón y el sistema de apertura, se puede separar el sistema de llenado de aire, siendo una posibilidad colocar una válvula de bicicleta en la parte anterior de la botella. Conviene proteger la válvula, sin olvidar la proa acolchada.

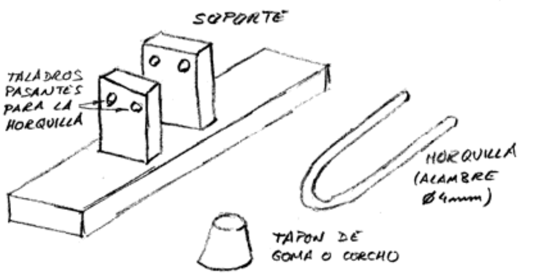


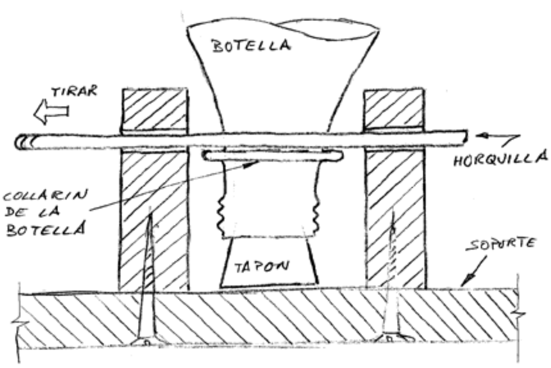
Con una jeringuilla se puede construir un sistema bastante eficaz:





Con un taco de madera que tenga un taladro del diámetro de la jeringuilla se puede quitar el perno de disparo sin sujetar directamente la botella. Para los cálculos hay que tener en cuenta que el diámetro de salida ya no es el de la botella sino el de la jeringuilla.
Otro sistema consiste en un tapón de goma o corcho con una horquilla de sujeción en el collarín:
Advertencia: con estos dos tapones, una presión muy alta puede bloquear el sistema de disparo.





5. CÁLCULOS

Consideraciones filosóficas

Esta es la parte realmente "divertida" de la práctica. Si alguno tiene la idea de que esto es como un bonito tiro parabólico como el que te enseñan cuando tienes 10 añitos diciendo que así se calculan los disparos de los cañones... está muy equivocado. El aumento del grado de complicación entre estos cálculos y el tiro parabólico es similar al que hay entre integrar y contar con los dedos.

En este apartado no se muestran las soluciones, sólo el planteamiento de las ecuaciones. Después de unas cuantas hipótesis bastante aceptables, se llega a tres bloques de sistemas de ecuaciones diferenciales, tercamente implícitas y catadura poco lineal, con alguna integral de estraperlo. Para acabar de estropear las cosas, se sabe de antemano que la solución no es única. A pesar de ello, lo realmente corrosivo para la moral es que el lanzamiento puede salir mal por muchos otros detalles: que el manómetro esté mal calibrado, que las aletas estén desviadas, que no salga toda el agua por utilizar una botella muy rechoncha o lanzar con un ángulo demasiado pequeño... (no sé si ya se empieza a notar alguna diferencia con los problemas tipo de clase).

Lo que hay que hacer, con respecto a esto último es pensar todo lo que puede salir mal y buscar soluciones y procedimientos para corregirlo o minimizarlo.

Sobre las ecuaciones, todo es válido para obtener una solución, hasta llamar al primo que trabaja en la NASA (no lo hagas porque le pondrás en un buen aprieto y te jurará odio eterno). Si no se maneja un ordenador, e incluso así, habrá que utilizar hipótesis y métodos de cálculo simplificados. La gracia está en elegir los que facilitan la solución sin comprometer el cálculo. Como regla general, cuanto más se desarrolle una ecuación y se profundice en el sentido físico antes de "cortar", más exacta va a ser la solución.

En todo este proceso es importante tener una idea de cuales son los órdenes de magnitud de los distintos términos de las ecuaciones. No es lo mismo, por ejemplo, considerar constante en el tiempo un término que varía entre 35 y 38 (unidades del SI) cuando los demás términos están alrededor de 250 (esta sería una hipótesis muy justificable), que intentar tomar el valor medio de una variable que oscila entre 420 y 0 cuando sólo hay otro término en la ecuación y además en la relación aparece una raíz cuadrada (este delito está tipificado en el código penal Art. 347 p. 65.4 y castigado con pena desde tres años y un día a quince años).

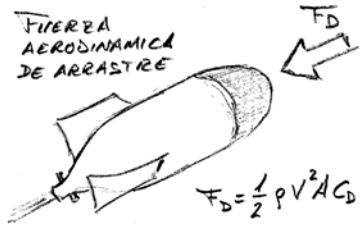
Otra noción interesante es que se van a tener más incógnitas que ecuaciones. Hay un montón de soluciones posibles y habrá algunos de los valores que tendremos que fijar fiándonos en nuestro instinto. Por ejemplo, para el vuelo, para cada ángulo de la rampa podemos hallar una velocidad de salida que llegue a 60m, por lo que tendremos que fijar el ángulo y hallar la velocidad de salida (presión del aire y volumen de agua iniciales); o bien hallar la velocidad de salida a partir de las ecuaciones de propulsión y calcular el ángulo (aquí se empieza a vislumbrar la responsabilidad de tomar decisiones).

En los cálculos hay que considerar tres fases distintas: propulsión por salida del agua, propulsión por salida del aire y el vuelo

Arrastre aerodinámico

Antes de pasar a las ecuaciones de la propulsión y el vuelo, se va a ver la fuerza de arrastre aerodinámico. Todo cuerpo que se mueve por un fluido experimenta una fuerza de arrastre, en sentido contrario al movimiento, que se puede expresar como:

$$F_D = \frac{1}{2}\rho \cdot V^2 \cdot A \cdot C_D$$



donde
ρ: densidad del fluido (aire)
V: velocidad del cuerpo
A: área característica
C_D: coeficiente de arrastre

El coeficiente de arrastre es un valor experimental que depende fundamentalmente de la forma del cuerpo, y también del nº de Reynolds. Para las botellas típicas, con un morro redondeado, varía entre 0.1 y 0.3 según la forma de salida sea más o menos estilizada.

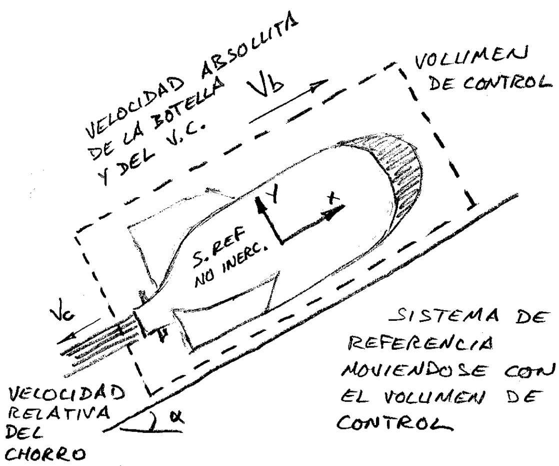
Salida del agua

Para plantear las ecuaciones de propulsión se van a utilizar las relaciones de volúmenes de control.
El volumen de control elegido incluye la botella y se desplaza con ella. El sistema de referencia tiene el eje *x* en la dirección de la rampa y es no inercial, es decir, se mueve con la misma velocidad variable del volumen de control.

Simplificaciones:

- Velocidad de salida uniforme en toda la sección.
- Velocidad del agua dentro de la botella igual a la velocidad de la botella. Dada la diferencia de sección entre el interior y la botella, es bastante válida.

Nomenclatura:
v_b velocidad de la botella (en sistema absoluto).
v_b velocidad relativa de salida del agua respecto a la superficie de control.
ρ_w densidad del agua.
A: superficie de la sección de salida.
m: masa total.
m_w: masa de agua.
m_b: masa de la botella.
V: volumen



La ecuación de continuidad

$$0 = \frac{d}{dt}\int_{vc} \rho \cdot dV + \int_{sc} \rho \cdot \left(\vec{V}_r \cdot \vec{dA} \right)$$

solo dice que

$$\frac{dm}{dt} = \rho_w \cdot v_c \cdot A$$

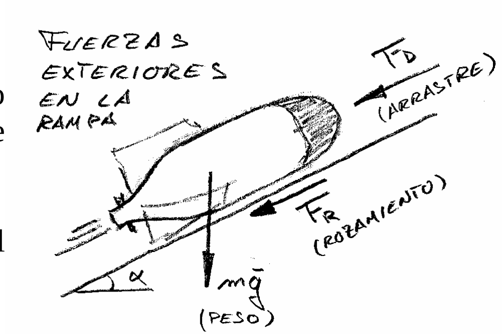
La ecuación de cantidad de movimiento: $\sum \vec{F} = \frac{d}{dt}\int_{vc} \vec{v}\cdot\rho\cdot dV + \int_{sc} \vec{v}\cdot\rho\cdot\left(\vec{v}_r\cdot d\vec{A}\right)$

Hay que resolverla para la dirección x (en la dirección y no hay más que equilibrio estático de fuerzas).

Las fuerzas exteriores son:

F_E = componente x del peso + fuerza de rozamiento rampa + fuerza de arrastre del aire

$$F_E = -m\cdot g\cdot \mathrm{sen}(\alpha) - \mu\cdot m\cdot g\cdot\cos(\alpha) - F_D$$



El coeficiente de rozamiento es fácil que no tenga un valor muy diferente de 0.2 (se puede hacer algún ensayo en seco...)

La masa varía con el tiempo, al irse vaciando el agua:

$$m = m_{inicial} - \int_0^t \rho_w\cdot v_c\cdot A\cdot dt$$

La fuerza de arrastre varía con la velocidad de la botella al cuadrado...

Al ser un sistema de referencia no inercial hay que añadir las fuerzas de inercia:

$$F_i = -m\frac{dv_b}{dt}$$

En el término de la derivada con respecto al tiempo de la integral en el VC se anula porque las velocidades son nulas respecto al sistema de referencia.

El término de la integral en la superficie de control, sólo hay una salida:

$$\int_{sc} \vec{v}\cdot\rho\cdot\left(\vec{v}_r\cdot d\vec{A}\right) = -\rho_w\cdot v_c^2\cdot A$$

porque la velocidad de salida del chorro en el SR es v_c y tiene sentido negativo.

En conjunto queda la ecuación:

$$F_E - m\frac{dv_b}{dt} = -\rho_w\cdot v_c^2\cdot A$$

que hay que integrar entre el instante cero y el instante t_F en el que ha salido todo el agua:

$$m_{w,inicial} = \int_0^{t_F} \rho_w\cdot v_c\cdot A\cdot dt$$

para hallar la velocidad de la botella al final de esta fase.

El problema es que no se conoce v_c. Para hallar ésta, hay que utilizar la ecuación de la energía:

$$\frac{dQ}{dt} - \frac{dW}{dt} = \frac{d}{dt}\int_{vc} e\cdot\rho\cdot d\forall + \int_{sc}\left(e + P/\rho\right)\cdot\rho\cdot\left(\vec{v}_r\cdot d\vec{A}\right)$$

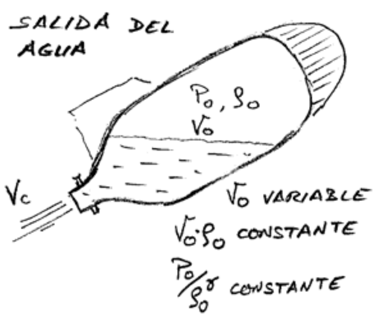
donde se ha incluido la potencia de las fuerzas de presión en la integral de SC y el término de la energía es:

$$e = \hat{u} + \frac{v^2}{2} + g\cdot z$$

Más simplificaciones:

- Temperatura inicial del aire atmosférica: llenado isotermo.
- Proceso de expansión del aire cuasi estacionario y adiabático (es demasiado rápido para considerarlo isotermo).
- Variación de cota despreciable frente a los otros términos (en este caso va a ser de alrededor de 0.5m).

Más nomenclatura:
ma: masa del aire.
u_w: energía interna del agua.
u_a: energía interna del aire.
P_{atm}: presión atmosférica.
P_o: presión del aire en la botella.
(a): absoluta, para las presiones.
ρ_o: densidad del aire.
V_o: volumen de aire.



Al ser adiabático:

$$\frac{dQ}{dt} = 0$$

Al moverse el SR con la botella, las fuerzas exteriores y de inercia no realizan trabajo pues la velocidad es nula:

$$-\frac{dW}{dt} = 0$$

En la derivada con respeto al tiempo, la parte correspondiente al agua queda:

$$-\hat{u}_w \cdot \rho_w \cdot v_c \cdot A$$

pues la velocidad y la variación de cota son despreciables y la energía interna es constante.

La parte correspondiente al aire es:

$$m_a \frac{d\hat{u}_a}{dt}$$

que, para el proceso que nos ocupa, después de darle muchas vueltas, resulta ser:

$$m_a \frac{d\hat{u}_a}{dt} = -P_{o,(a)} \cdot v_c \cdot A$$

pues la velocidad y la cota son despreciables y la masa permanece constante.

La integral en la superficie de control de la salida es:

$$\left(\hat{u}_w + \frac{v_c^2}{2} + \frac{P_{atm,(a)}}{\rho_w}\right) \cdot \rho_w \cdot v_c \cdot A$$

donde hay que tener considerar la presión atmosférica pues en la energía interna del aire se han utilizado presiones absolutas.

Juntando todo, resulta:

$$0 = -P_o + \rho_w \frac{v_c^2}{2}$$

con lo que ya se tiene una relación entre la velocidad de salida del agua y la presión del aire. El único inconveniente es que la presión del aire también varía con el tiempo...

En el proceso de expansión del aire, la presión inicial es un dato (o resultado, según se mire), por lo que la densidad inicial, suponiendo el llenado isotermo:

$$\frac{P_{o,inic,(a)}}{\rho_{o,inic}} = R \cdot T_{amb}$$

¡ojo con los cambios de presiones absolutas a relativas!

En el vaciado, adiabático, se cumple:

$$\frac{P_{o,inic,(a)}}{\rho_{o,inic}^{\gamma}} = \frac{P_{o,(a)}}{\rho_{o}^{\gamma}}$$

y, además, la masa del aire permanece constante:

$$V_{o,inic} \cdot \rho_{o,inic} = V_o \cdot \rho_o$$

La variación del volumen del aire nos la da la salida del agua:

$$V_o = V_{o,inic} + \int_0^t v_c \cdot A \cdot dt$$

con esto se obtiene la presión del aire en función del tiempo y de otras variables "conocidas".

Ahora sólo hay que juntarlo todo y resolverlo para tener la velocidad de la botella al final de la salida del agua en función de la presión inicial del aire y del volumen inicial de agua. (¿Difícil?, no, sólo complicado).

Salida del aire

Aunque pueda parecer que el efecto del aire que queda en la botella es poco importante, no es así. Únicamente con aire a una presión relativa de 1 bar se puede enviar la botella a más de 6 m. Hay que tener en cuenta que en una tobera convergente, a partir de una presión de 0.9 bar, la salida es sónica, con velocidades del aire de 300 o 400 m/s, y que se puede conseguir que sea supersónica si la tobera es convergente divergente.

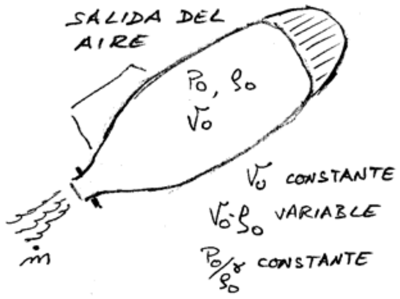
Para obtener la propulsión de la fase de salida del aire hay que aplicar las mismas ecuaciones de conservación que en la salida del agua. La ecuación de cantidad de movimiento queda:

$$F_E - m\frac{dv_b}{dt} = -\rho_s \cdot v_c^2 \cdot A$$

con la única diferencia de que la densidad ahora es la del aire. Para hallar la velocidad de salida del aire habría que desarrollar también la ecuación de la energía. Por simplificar, y dado que esta velocidad va a ser muy superior a la de la botella, es adecuado utilizar la ecuación de flujo compresible isentrópico a través de una tobera.

Otras simplificaciones:

- Presión de salida atmosférica.
- Proceso de expansión y escape del aire cuasi estacionario e isentrópico.



Otra nomenclatura:

$\dot{m}$: caudal másico de aire.
V_b: volumen de la botella.
ii: subíndice del instante de comienzo de salida del aire.

s: subíndice de condiciones a la salida

El caudal másico es:

$$\dot{m} = A \cdot \rho_s \cdot v_c$$

y se obtiene de la ecuación: $\left(\frac{P_{s,(a)}}{P_{o,(a)}}\right)^{2/\gamma} - \left(\frac{P_{s,(a)}}{P_{o,(a)}}\right)^{(\gamma+1)/\gamma} = \left(\frac{\gamma-1}{2\gamma}\right)\frac{\left(\dot{m}\right)^2}{S^2 \cdot P_{o,(a)} \cdot \rho_o}$

donde la presión de salida es la atmosférica.

La presión de salida y la del aire dentro de la botella se relacionan con las condiciones de presión y densidad en el instante de comienzo de salida del aire (que se pueden calcular como el final de la fase anterior), por las expresiones:

$$\frac{P_{o,ii,(a)}}{\rho_{o,ii}^{\gamma}} = \frac{P_{o,(a)}}{\rho_o^{\gamma}} = \frac{P_{s,(a)}}{\rho_o^{\gamma}}$$

pues se están considerando adiabáticos ambos procesos. Según esto, ρ_s será constante (pues $P_{s,(a)}$ es la atmosférica) pero no será igual a la densidad a temperatura ambiente. De hecho, las temperaturas serán más bajas debido al enfriamiento de la expansión.

$Po_{,(a)}$ y ρ_o, valores del aire que permanece dentro de la botella, son variables con el tiempo. Aparte de la relación adiabática, la ecuación que se necesita es la que relaciona la masa existente en un instante dado con la masa inicial y el caudal másico saliente:

$$V_b \cdot \rho_o = V_b \cdot \rho_{o,ii} - \int_0^t \dot{m} \cdot dt$$

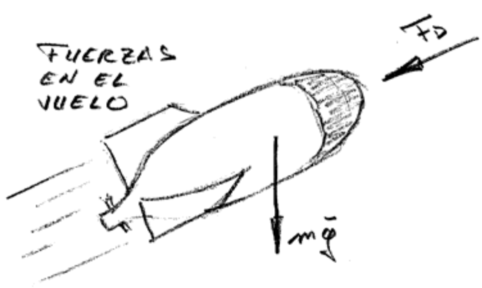
Con esto está todo el planteamiento de las ecuaciones. Las condiciones de contorno son la velocidad final de la etapa anterior en el instante inicial y que el tiempo final viene definido por que la presión interior es igual a la atmosférica (¡ojo!, no sale toda la masa de aire).

Se ha conseguido la velocidad de la botella al final de la propulsión en función de la presión inicial del aire y del volumen inicial de agua.

Vuelo

Se puede asumir que la propulsión se produce sólo en la rampa y que al final de ella, la velocidad es la del final de la propulsión. Ahora hay que calcular la trayectoria del vuelo.

Las fuerzas que actúan son la del peso, en la dirección vertical, y la del arrastre, en sentido contrario a la velocidad. Tomando el sistema de referencia con el eje *x* horizontal y el *y* vertical, la segunda ley de Newton



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

se desarrolla en las siguientes componentes:

$$m\frac{dv_x}{dt} = -\frac{1}{2}\rho \cdot A \cdot C_D \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \cdot v_x$$

$$m\frac{dv_y}{dt} = -\frac{1}{2}\rho \cdot A \cdot C_D \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \cdot v_y - m \cdot g$$

Se ha dividido F_D por el módulo de la velocidad y multiplicado por cada componente para obtener el valor y el signo adecuado.
Las condiciones iniciales son $x = 0$; $y = y_0$; $v_x = v_{x0}$; $v_y = v_{y0}$.
Las condiciones finales: ***x = 60m; y = 0.***

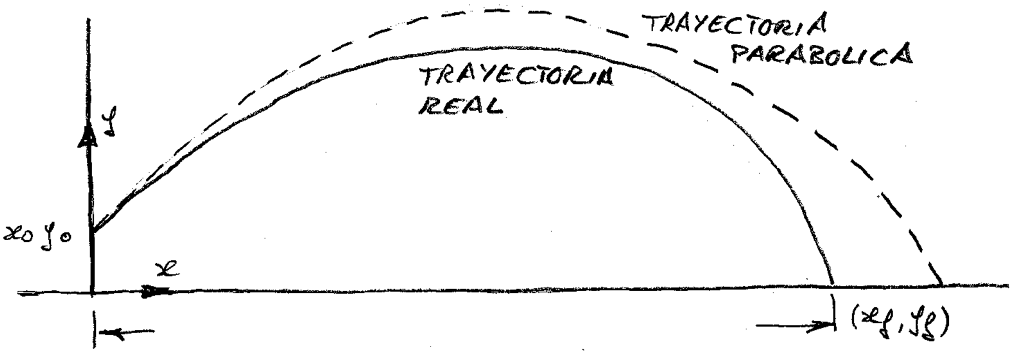
Ya se ha comentado que estas condiciones no dan una solución única. Cada valor del ángulo de salida

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{v_{y0}}{v_{x0}}$$

tiene un valor del módulo de la velocidad inicial

$$\sqrt{v_{x0}^2 + v_{y0}^2}$$

que alcanza 60 metros y cada velocidad tiene dos valores del ángulo, aunque no todas las velocidades sirven.



Otro dato interesante, a la vista de las ecuaciones anteriores es que, en principio, el ángulo de 45º no va a ser el de máximo alcance (a diferencia del tiro parabólico y sin afán de romper moldes preestablecidos).

Algunos datos orientativos

Para un tiro parabólico de alcance 60m con ángulo de 45º, la velocidad inicial es alrededor de 25 m/s.
Con una presión del aire de 4 bar, la velocidad relativa del chorro de agua está cerca de 30 m/s.
El tiempo que tarda en salir 1 litro de agua con una presión inicial de 3 bar en una botella de 2 litros es de un orden de magnitud de 0.1s y la botella recorre alrededor de 1m. Para el aire, el orden de magnitud es de 0.01s.
La aceleración media necesaria anda alrededor de 200 m/s^2. Las fuerzas exteriores tienen un orden de magnitud 10 veces inferior.

Por último, no hay que olvidar que, cuando todo lo demás falla, siempre queda la posibilidad de cerrar los ojos y confiar en la fuerza.

ANEXO: grupos del seminario 5:

SEMINARIO 5 *Propulsión Hidrodinámica*		
GRUPO **1** (martes 23 ENE 11.30-12.00 h)	GRUPO **2** (martes 23 ENE 11.30-12.00 h)	GRUPO **3** (martes 23 ENE 11.30-12.00 h)
Nuria Rodríguez (UO169476)	Santiago Martínez (UO175196)	Pablo García (UO175815)
David Nava (UO168699)	Pedro Iriondo (UO175697)	Enrique López (UO175585)
María García (UO168679)	Manuel Lorenzo (UO175565)	Pedro González (UO176087)
Ana Fernández (UO167371)	Javier García (UO175265)	Francisco Pérez (UO82753)
Mario Pérez (UO168940)	Pelayo Fernández (UO175326)	Gabriel Diaz (UO156396)

GRUPO **4** (martes 23 ENE 11.30-12.00 h)	GRUPO **5** (martes 23 ENE 11.30-12.00 h)	GRUPO **6** (martes 23 ENE 12.00-12.30 h)
Silvia Ron (UO175556)	Santiago Martínez (UO172387)	Luís Grijalba (UO141526)
Marta Menéndez (UO1173777)	Álvaro Mate (UO175519)	José Carlos Simón (UO81253)
Alejandro Rodríguez UO167402	Joaquín Irazabal (UO175440)	Laura González (UO173522)
Iván Luarca (UO175457)	Ignacio Díaz (UO168965)	Jonathan Fierro (UO5010)
Jesús Ramos (UO160903)	Iván Puentes (UO32180)	Verónica Mier

GRUPO **7** (martes 23 ENE 12.00-12.30 h)	GRUPO **8** (martes 23 ENE 12.00-12.30 h)	GRUPO **9** (martes 23 ENE 12.00-12.30 h)
Alfonso Diáz (UO168827)	Ricardo López (UO168777)	Pablo Fernández (UO175180)
Pablo Villamor (UO169160)	Alejandro Rodríguez UO158890	Aurelio Castaño (UO174161)
Daniel Rodríguez (UO165828)	Elian Villar (UO166876)	Pablo Villén (UO169170)
Iván Peréz (UO170820)	Carlos Martín (UO6434)	Juan Antonio Suárez UO69127
Alejandro Peláez (UO169199)	Alfredo Rodríguez (UO169925)	Nicanor Díaz (UO158717)

GRUPO **10** (martes 23 ENE 12.00-12.30 h)	GRUPO **11** (martes 23 ENE 12.30-13.00 h)	GRUPO **12** (martes 23 ENE 12.30-13.00 h)
Enrique Capelastegui UO169332	Azucena Bello (UO172435)	Inés García (UO169402)
Enrique Álvarez (UO169221)	Paula Fernández-F. (UO175693)	Irene García-S. (UO169177)
Iván Barredo (UO169063)	Adrián Gutiérrez (UO1329)	Javier Menéndez (UO168952)
Miguel Zaldivar (UO167679)	Santiago Crespo (UO81159)	Jonatan Hernández UO165786
David Castro (UO169333)	Sergio Prieto (UO82127)	Nicolás Jove (UO37365)

GRUPO **13** (martes 23 ENE 12.30-13.00 h)	GRUPO **14** (martes 23 ENE 12.30-13.00 h)	GRUPO **15** (martes 23 ENE 12.30-13.00 h)
Carmen Piedra (UO168658)	Cristian Vacas (UO1696)	Javier Odriozola (UO166202)
Olaya Cabrero (UO168649)	Maite Trancón (UO158610)	Damián Espina (UO168848)
Ana Maartínez (UO3545)	Tamara Pérez (UO158565)	Elena Méndez (UO168673)
Paula Molina (UO168918)	Patricia González (UO159570)	Pablo Pérez (UO168871)
Nayra Álvarez (UO169238)	María Mera (UO80678)	Fátima Ould-Ali (UO3156011)

SEMINARIO 5

Propulsión Hidrodinámica

GRUPO **16** (martes 23 ENE 13.00-13.30 h)	GRUPO **17** (martes 23 ENE 13.00-13.30 h)	GRUPO **18** (martes 23 ENE 13.00-13.30 h)
Raúl Cordero (UO159160)	Javier Maroto (UO158518)	Javier Lagüela (UO158756)
David Testa (UO159118)	Javier Artime (UO159139)	Pablo Suárez (UO159251)
Covadonga Díaz (UO175348)	María Fernández (UO168816)	Vanesa González (UO3525)
Gonzalo Cuetos (UO175603)	Luís Fuentes (UO155647)	Lorena Robles (UO169474)
Enrique Alzaga (UO175978)	Igor Ruiz (UO172558)	Marta Cuervo (UO169004)

GRUPO **19** (martes 23 ENE 13.00-13.30 h)	GRUPO **20** (martes 23 ENE 13.00-13.30 h)	GRUPO **21** (martes 23 ENE 13.30-14.00 h)
José María Suárez (UO80898)	Gustavo Fernández (UO42879)	Javier Fernández (UO175384)
Javier Fernández (UO3374)	José Fernández (UO64675)	Eloy Fidalgo (UO175243)
Juan Martínez (UO2123)	Marcos García (UO61870)	David Gutiérrez (UO169316)
Alberto Menéndez (UO80780)	Diego Fernández (UO70189)	David Escudero (UO165671)
Tamara Menéndez (UO900)	Francisco Álvarez (UO64734)	Daniel Muiña (UO159123)

GRUPO **22** (martes 23 ENE 13.30-14.00 h)	GRUPO **23** (martes 23 ENE 13.30-14.00 h)	GRUPO **24** (martes 23 ENE 13.30-14.00 h)
Bruno Antona (UO176470)	Germán Botón (UO173536)	Rubén Villanueva (UO70409)
Antonio Álvarez (UO175201)	Diego Fernández (UO173791)	Vicente Martínez (UO70182)
Carlos Cuesta (UO175626)	Giovanni Fernández UO175288	Rafael Sarasola (UO175468)
Juan del Arco (UO175396)	Vanesa Rodríguez (UO175591)	Sanel Sjekirica (UO7074)
Pablo Ardura (UO175397)	Javier del Rio (UO176463)	Alejandro Mora (UO175230)

GRUPO **25** (martes 23 ENE 13.30-14.00 h)	GRUPO **26** (martes 23 ENE 14.00-14.30 h)	GRUPO **27** (martes 23 ENE 14.00-14.30 h)
David González (UO157045)	Tomás Río (UO175540)	Cristina Morgalo (UO80103)
Oscar García (UO168882)	Manuel Riestra (UO175418)	Cristina Villamea (UO66062)
Francisco García (UO158559)	Rubén Ferrero (UO165539)	Sergio Canto (UO76703)
Rubén Menéndez (UO159497)	Rubén Sánchez (UO1990)	Ofelia Llames (UO80887)
Alfonso Fernández (UO149972)	Iago Fernández (UO168670)	Alejandro Lipiz (UO169587)

GRUPO **28** (martes 23 ENE 14.00-14.30 h)	GRUPO **29** (martes 23 ENE 14.00-14.30 h)	GRUPO **30** (martes 23 ENE 14.00-14.30 h)
Marcelo Caschili (UO187752)	José Ángel García (UO83736)	Manuel Rodríguez (UO1143)
Fabrizio Licciardi (UO188490)	Ana Burón (UO80760)	Pablo Sanz (UO3005)
José Luís Rudeiros (UO175205)	Natalia Cabrero (UO3271)	Sergio Pendás (UO158057)
Francisco Pérez (175997	Pedro Peña (UO4226)	Roberto González (UO136082)
Carmen Romero (UO3094)	Ana Santoveña (UO132956)	Antonio Ramos (UO149963)