Ondas de Choque en la Atmósfera

Interacción entre una onda de choque y una nube

Francisca Guzmán

7 de noviembre de 2008

Formación de ondas de choque en la atmósfera

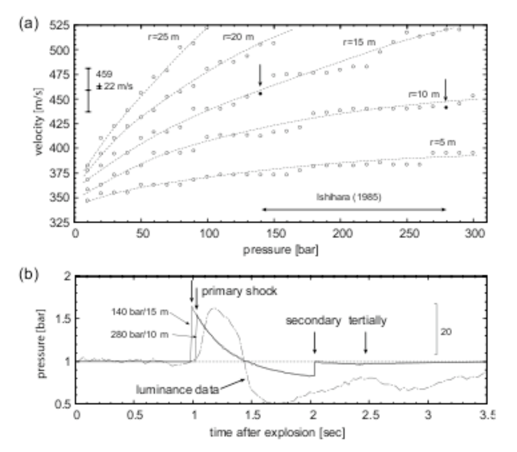
- Forma natural:Erupciones volcánicas.
- Forma artificial: Hail control gun.

Interacción entre una onda de choque y una nube

- Descripción del problema
- Primera discontinuidad
- Segunda discontinuidad

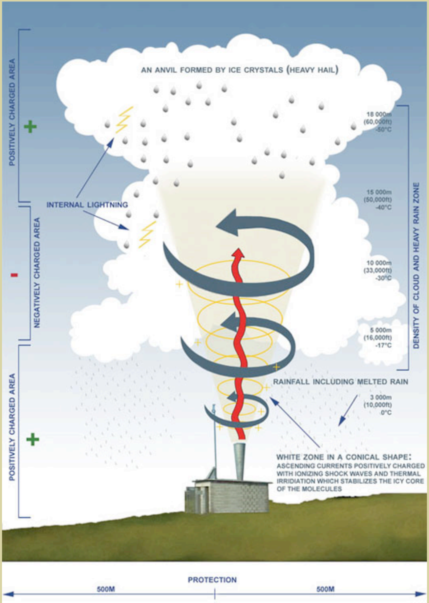
Forma natural:Erupciones volcánicas

La onda de presión que se forma puede llegar a tener una velocidad cercana a los 600[m/s]. La velocidad de propagación del sonido en el aire varía entre los $342 - 574$[m/s].



Forma artificial: Hail control gun

Cada cinco segundos ondas de choque ionizadas son disparadas al aire. Estas alcanzan la alta atmósfera más allá de los 15000[m] a -50°C donde el granizo es formado. Una parte de las ondas retumbarán con las nubes en la tropopausa. Estas golpearán a las ondas que suben, como resultado su energía aumentará y transportarán un gran potencial ionizante. Debido a la oscilación de las ondas, las nubes se polarizarán y comenzará a llover o caerán los granizos. Cuando los granizos pasan por la zona en donde se generan las ondas de choque estos se destruyen y caen en forma de gotas de agua.



AN ANVIL FORMED BY ICE CRYSTALS (HEAVY HAIL)
POSITIVELY CHARGED AREA
+
INTERNAL LIGHTNING
NEGATIVELY CHARGED AREA
-
POSITIVELY CHARGED AREA
+
18 000m
(60,000ft)
-50°C
15 000m
(50,000ft)
-40°C
10 000m
(33,000ft)
-30°C
5 000m
(16,000ft)
-17°C
DENSITY OF CLOUD AND HEAVY RAIN ZONE
RAINFALL INCLUDING MELTED RAIN
3 000m
(10,000ft)
0°C
WHITE ZONE IN A CONICAL SHAPE:
ASCENDING CURRENTS POSITIVELY CHARGED WITH IONIZING SHOCK WAVES AND THERMAL IRRIDIATION WHICH STABILIZES THE ICY CORE OF THE MOLECULES
PROTECTION
500M
500M

Para un fluido en reposo un elemento de área en una superficie de discontinuidad puede ser considerada un plano y se puede asumir en reposo. Si el fluido no esta en reposo el argumento sigue siendo valido por un instante de tiempo pequeño. La discontinuidad en donde el flujo de masa a través de la superficie es cero, la componente normal de la velocidad y la presión es contínua a través de la superficie es llamada discontinuidad tangencial.

$$v_{1n} = v_{2n} = 0 \qquad p_1 = p_2$$

Se considerará un gas politrópico $pV^{\gamma} = cte$.

Descripción del problema

Se considera una nube en la cual los efectos causados por la gravedad y el campo magnético terrestre son despresiables, además de considerar las pérdidas por radación nulas. Por esto se considrará que la densidad de la nube es uniforme y mucho más grande que la densidad del ambiente.

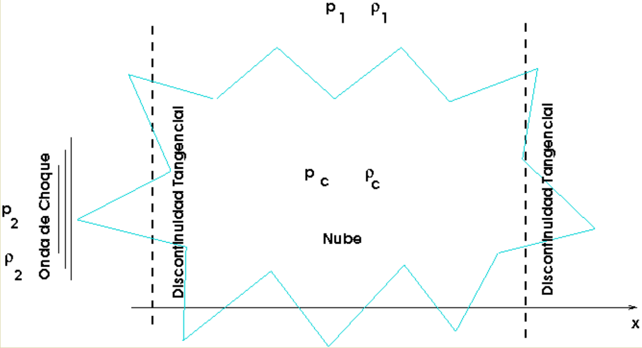
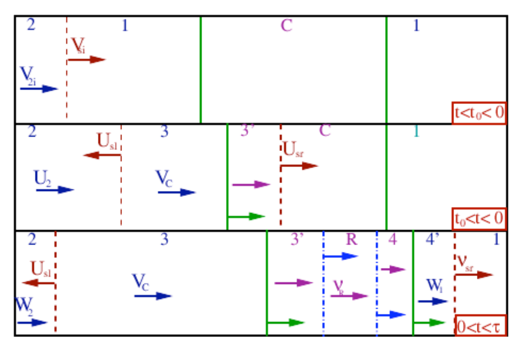


Figura: Imagen de la nube en un tiempo $t = t_0 < 0$.



Las ondas de rarefacción sólo se pueden propagar una distancia x finita. Por lo que estas ondas están ligadas por discontinuidades débiles.
Las discontinuidades débiles son superficies de discontinuidad en donde las cantidades hidrodinámicas, que son contínuas a través de esta superficie, no son funciones regulares de las coordenadas.

Primera discontinuidad

El valor absoluto de la velocidad v del flujo despúes de la discontinuidad inicial es:

$$v_2 + v_c = v_{2i} \tag{1}$$

Las velocidades vienen relacionadas con la presión y el volumen específico por:

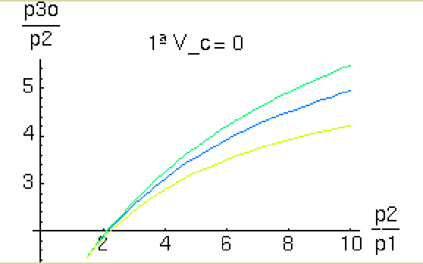
$$\begin{aligned} v_{2i}^2 &= (p_2 - p_1)(V_1 - V_2) && (2) \\ v_c^2 &= (p_3 - p_1)(V_c - V_{3'}) && (3) \\ v_2^2 &= (p_3 - p_2)(V_2 - V_3) && (4) \end{aligned}$$

Primera discontinuidad

Veamos un una solución particular del problema, el caso en que la nube se transforma en una pared sólida ($V_c = 0$):

$$\frac{p_{3_0}}{p_2} = \frac{(3\gamma - 1)p_2 - (\gamma - 1)p_1}{(\gamma - 1)p_2 + (\gamma + 1)p_1} \tag{5}$$

p_{3_0} es el valor de la presión detrás de la onda de choque reflejada y transmitida y $p_3 > p_2 > p_1$.



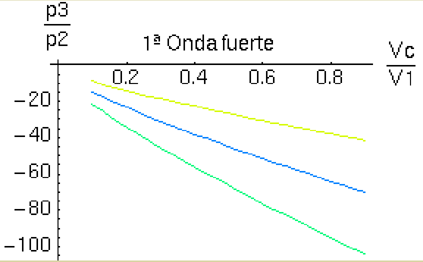
Primera discontinuidad

En el caso general ($V_c \neq 0$). Tenemos para el caso de **Onda de choque fuerte incidiendo** ($p_3 > p_2 \gg p_1$):

$$\frac{p_3^*}{p_2} = -\frac{4\gamma^2(\gamma+1)}{(3\gamma-1)(\gamma-1)^2}\frac{V_c}{V_1}\left(\frac{3\gamma-1}{\gamma_c+1}+k\right)$$

Donde $$k = 2\sqrt{\frac{V_1}{V_c}\frac{(3\gamma-1)(\gamma-1)}{(\gamma_c+1)(\gamma+1)}}$$

$$p_3^* = p_3 - p_{3_0}$$



Primera discontinuidad

Para el caso de una **Onda de choque débil incidiendo**:

$$\frac{p_3^*}{p_1} = -2\eta\frac{\gamma}{\gamma_c}\sqrt{\frac{V_c}{V_1}}\left(\sqrt{\frac{\gamma_c}{\gamma}}+\sqrt{\frac{V_c}{V_1}}\right)$$

Donde $$\eta = \frac{(p_2 - p_1)}{p_1} \ll 1$$

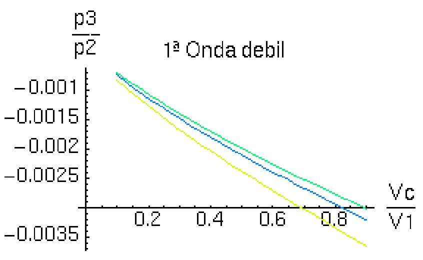
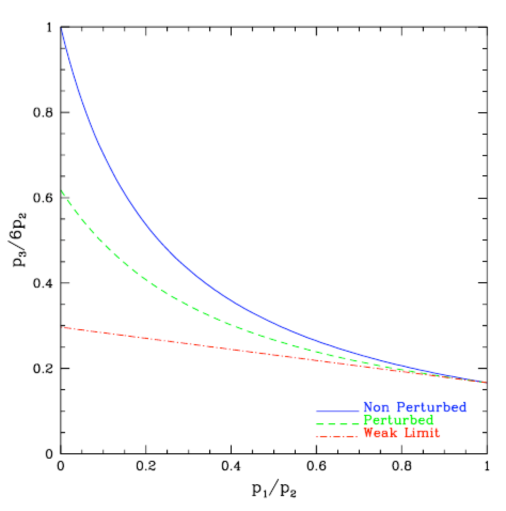


Figura: azul=aire $=\gamma = 1{,}4$, verde=$CO_2 = \gamma = 1{,}29$ y amarillo=$A_r = \gamma = 1{,}67$.

Primera discontinuidad

Las soluciones perturbadas fueron graficadas asumiendo $\rho_c/\rho_1 = 100$ para indices politrópicos $\gamma = \gamma_c = 5/3$, correspondiente a un gas ideal monoatómico.

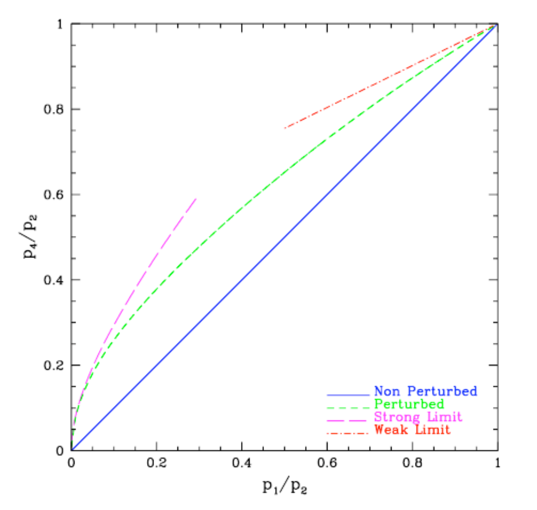


La región 2 y 3 estan relacionadas por la ecuación de las adiabatas. Debido a que el gas en las regiones $3'$ y 4 cumplen con la ecuación de estado politrópica, se sigue que:

$$\frac{p_4}{p_2} = \left(\frac{V_{3'}}{V_4}\right)^{\gamma_c} \frac{(\gamma+1)V_2 - (\gamma-1)V_3}{(\gamma+1)V_3 - (\gamma-1)V_2}$$

Este resultado implica que la mayoria de la energía de la onda incidente fue inyectada en la nube. Sólo una parte pequeña de esta energía es transmitida al gas externo que esta al otro lado de la nube.

Segunda discontinuidad



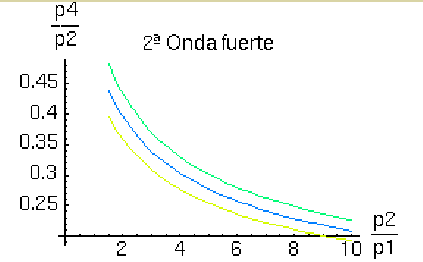
Segunda discontinuidad

Tenemos para el caso de **Onda de choque fuerte incidiendo**:

$$\frac{p_4^*}{p_2} = \sqrt{\frac{\gamma(3\gamma-1)}{(\gamma_c+1)(\gamma-1)}\frac{p_1 V_c}{p_2 V_1}}\left(\sqrt{2}+\xi\right)$$

Donde $$\xi = \frac{2\sqrt{\gamma_c}}{\sqrt{(\gamma_c-1)}}\left[1-\left(\frac{p_1(\gamma-1)}{p_2(3\gamma-1)}\right)^{(\gamma_c-1)/2\gamma_c)}\right]$$

$$p_4^* = p_4 - p_1$$



Segunda discontinuidad

Para el caso de una **Onda de choque débil incidiendo**:

$$\frac{p_4^*}{p_2} = 6\eta\sqrt{\frac{\gamma V_c}{\gamma_c V_1}}$$

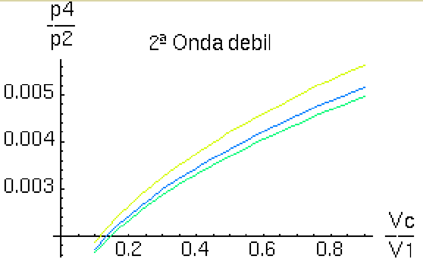


Figura: azul=aire $=\gamma = 1{,}4$, verde=$CO_2 = \gamma = 1{,}29$ y amarillo=$A_r = \gamma = 1{,}67$.

Referencias:

http://mendozza.org/sergio/phdthesis/phdlatex2html/node47.html
http://casa.colorado.edu/ danforth/science/cloudshock/index.html