TERMODINÁMICA DE LA ATMÓSFERA
Parte I

Dr. Manuel A. Leiva G

@manleiva

manleiva@uchile.cl
manleiva@me.com

1

TERMODINÁMICA DE LA ATMÓSFERA
Parte I

- Concepto de parcela de aire
- Flotabilidad en la atmósfera
- Variación de la Presión con la altitud
- Aplicaciones de la ley barométrica
- La Temperatura de la Atmósfera
- Variación de la temperatura y la presión con la altura
- Estabilidad atmosférica
- Geopotencial
- Termodinámica del aire húmedo

2

Concepto de Parcela de Aire
• Volumen imaginario de aire (Una parcela de aire) para que cualquiera o todas las propiedades dinámicas y termodinámicas de aire atmosférico se cumplen.

3

Concepto de Parcela de Aire
• Es un volumen lo suficientemente grande como para contener un número muy grande de moléculas, pero lo suficientemente pequeño como para que las propiedades que le asignen sean aproximadamente uniforme dentro de ella y de manera que sus movimientos con respecto a la atmósfera circundante no inducen marcados cambios.

4

Concepto de Parcela de Aire

- Parcela de aire que está térmicamente aislada de su entorno para que su temperatura cambie adiabáticamente a medida que sube o se hunde.

5

Concepto de Parcela de Aire

- Parcela de aire que está siempre a la misma presión que el aire ambiental al mismo nivel, por lo que se supone que está en equilibrio hidrostático.

6

Concepto de Parcela de Aire
Una buena analogias es:
"un globo grande pero...

7

Concepto de Parcela de Aire
Una buena analogias es:
"un globo grande pero...
sin sus paredes".

8

Concepto de Parcela de Aire
P(z1)==700 hPa
P(z1)=?
T(z1)= ?
V(z1)=?
SUBE
BAJA
P(z0)=?
T(z0)= T0
V(z0)=V0
P(z0)=1000 hPa

9

Concepto de Parcela de Aire
P=700 hPa
P=700 hPa
SUBE
BAJA
P=1000 hPa
P=1000 hPa

10

Concepto de Parcela de Aire
La parcela se expande debido a que la presión externa disminuye.
P=700 hPa
v(z0)<V(z1)
SUBE
BAJA
P=1000 hPa
P(z0)=?
T(z0)= T0
V(z0)=V0

11

Concepto de Parcela de Aire
La parcela se enfría debido a que la energía interna de las moléculas es proporcional a la temperatura de la parcela
P=700 hPa
T(z0)>T(z1)
SUBE
BAJA
P=1000 hPa
P(z0)=?
T(z0)= T0
V(z0)=V0

12

Concepto de Parcela de Aire

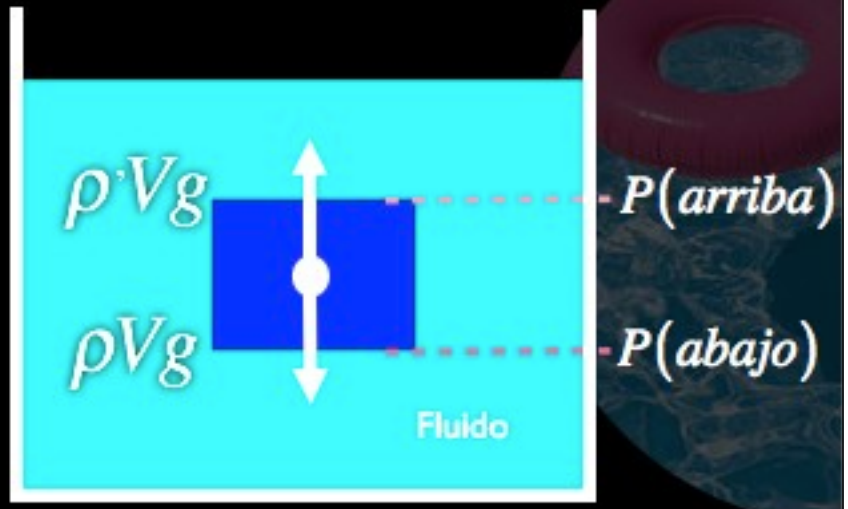
13

Concepto de Parcela de Aire

- Volumen imaginario de aire (Una parcela de aire) para que cualquiera o todas las propiedades dinámicas y termodinámicas de aire atmosférico se cumplen.
- Es un volumen lo suficientemente grande como para contener un número muy grande de moléculas, pero lo suficientemente pequeño como para que las propiedades que le asignen sean aproximadamente uniforme dentro de ella y de manera que sus movimientos con respecto a la atmósfera circundante no inducen marcados cambios.
- Parcela de aire que está térmicamente aislada de su entorno para que su temperatura cambie adiabáticamente a medida que sube o se hunde.
- Parcela de aire que está siempre a la misma presión que el aire ambiental al mismo nivel, por lo que se supone que está en equilibrio hidrostático.

14

Flotabilidad



15

Flotabilidad

La fuerza neta sobre el objeto representada por el equilibrio de fuerzas:

$$\gamma = \frac{Aceleración}{masa}$$

$$\gamma = \frac{\left(\rho' Vg - \rho Vg\right)}{\rho V} = \left(\frac{\rho' - \rho}{\rho}\right) g$$

Considerando que PV=nRT la densidad es inversamente proporcional a la T, por lo cual:

$$\gamma = \left(\frac{T - T'}{T}\right) g$$

16

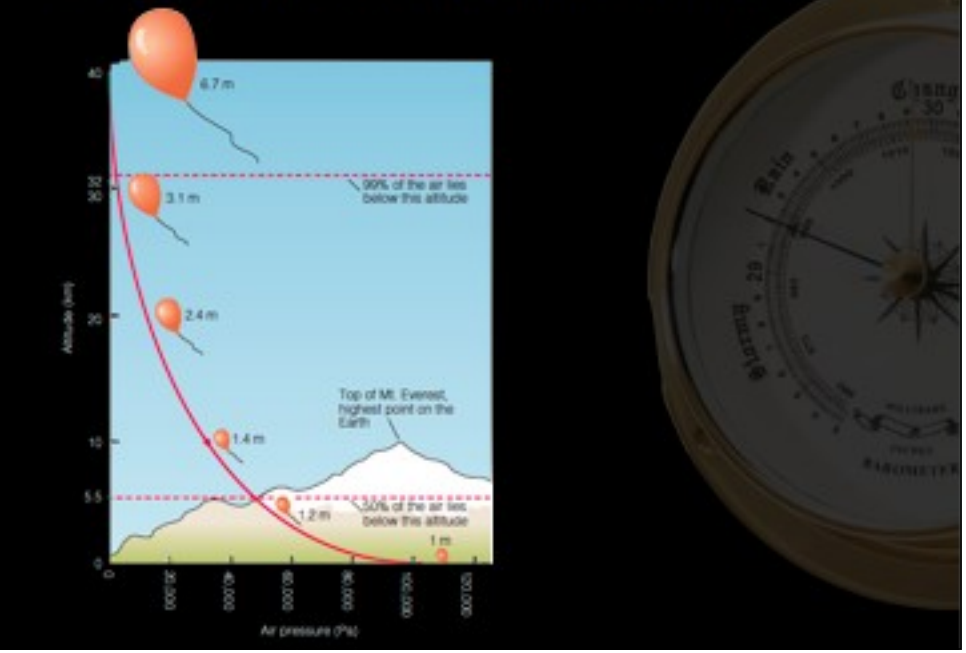
Flotabilidad

Ejemplo: La flotabilidad esta asociada a movimientos vigorosos en la atmósfera. Considere un pavimento negro en una playa de estacionamiento, si el aire en la superficie del pavimento se tiene una temperatura de 301 K y el de los alrededores presenta una temperatura de 300 K.
¿Cual es la aceleración del aire sobre la playa de estacionamientos?

$$\gamma = \left(\frac{T - T'}{T} \right) g = 3{,}3 \times 10^{-2}\ m\ s^{-2}$$

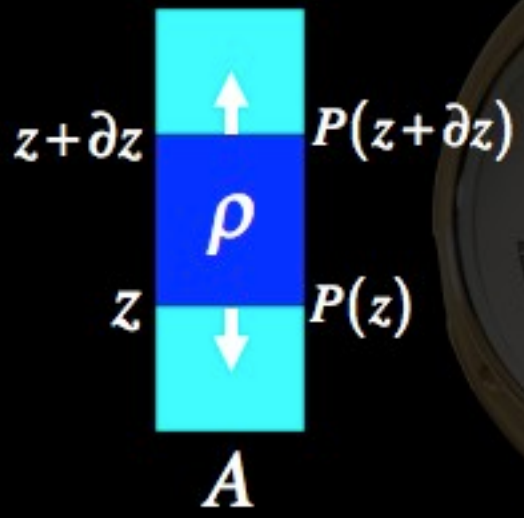
17

Ley Barométrica: Deducción



18

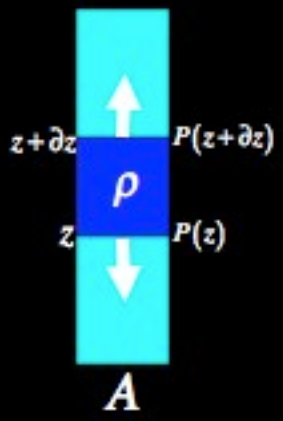
Ley Barométrica: Deducción



19

Ley Barométrica: Deducción

- Hacia abajo:



$$F_{\downarrow} = ma$$

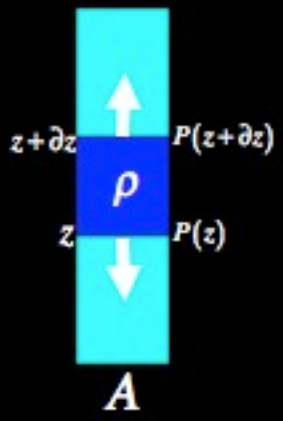
$$F_{\downarrow} = V\rho g$$

$$F_{\downarrow} = A\partial z\rho g$$

20

Ley Barométrica: Deducción

- Hacia arriba:



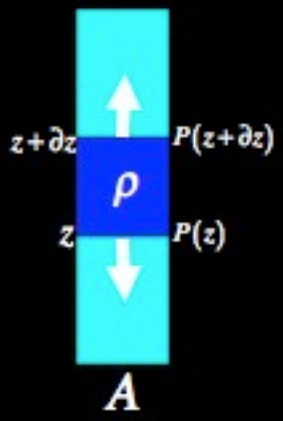
$$F_{\uparrow} = PA$$

$$F_{\uparrow} = \left[P(z) - P(z+\partial z)\right]A$$

21

Ley Barométrica: Deducción

- Balance de fuerzas



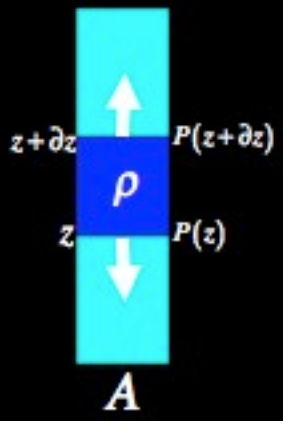
$$F_{\uparrow} = F_{\downarrow}$$

$$\left[P(z) - P(z+\partial z)\right]A = A\,\partial z \rho g$$

$$\left[P(z+\partial z) - P(z)\right] = -\partial z \rho g$$

22

Ley Barométrica: Deducción



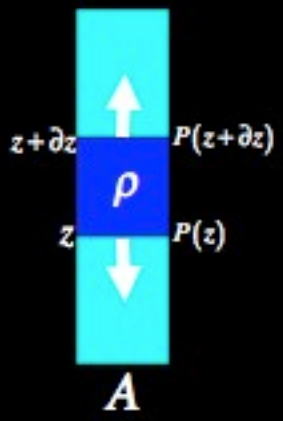
- Reordenando

$$\frac{\partial P(z)}{\partial z} = -\rho g$$

- De la ecuación de estado

$$\rho = \frac{PM_a}{R_g T}$$

Ley Barométrica: Deducción



- Reemplazando y reordenando

$$\frac{\partial P(z)}{P} = -\frac{M_a g}{RT}\partial z$$

- Integrando y asumiendo T cte. entre z y z_o

$$\int_{P(z_0=0)}^{P(z)} \frac{1}{P}\partial P(z) = \int_{z_0=0}^{z} -\frac{M_a g}{RT}\partial z$$

Ley Barométrica: Deducción

- Integrando y asumiendo T cte. entre z y z_0

$$\int_{P(z_0=0)}^{P(z)} \frac{1}{P}\partial P(z) = \int_{z_0=0}^{z} -\frac{M_a g}{RT}\partial z$$

$$\ln[P(z)] - \ln[P(z_0)] = -\frac{M_a g}{RT}(z - z_0)$$

25

Ley Barométrica: Deducción

$$P(z) = P(z_0)e^{-\frac{M_a g}{RT}(z - z_0)}$$

26

Ley Barométrica: Deducción

- Para obtener la presion a una altura z

$$-\int_{P(z)}^{P(z_\infty)} dP = \int_{z}^{\infty} g\rho\, dz$$

- O debido a que $P(\infty)=0$

$$P(z) = \int_{z}^{z_\infty} g\rho\, dz$$

27

Ley Barométrica: Deducción

- Escala de altura:

$$H = \frac{RT}{M_a g}$$

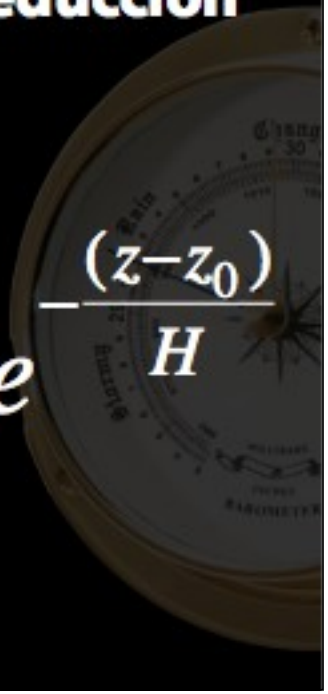
$$H = \left.\frac{R\bar{T}}{M_a g}\right|_{\bar{T}=255\,K} = 7{,}4\,km$$

28

Ley Barométrica: Deducción

- Ecuación Hidrostática, isoterma

$$P(z) = P(z_0)e^{-\frac{(z-z_0)}{H}}$$



29

Ley Barométrica: Deducción

¿Que sentido físico-químico tiene H?

30

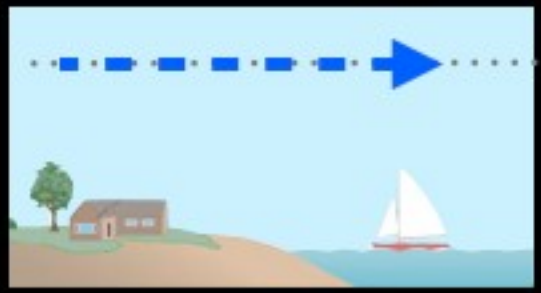
Ley Barométrica: Deducción

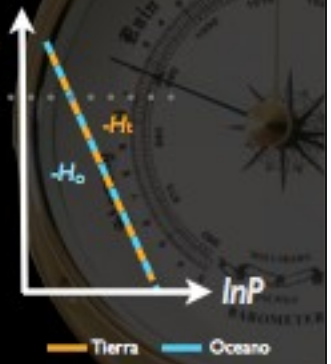
¿Cómo aplicar la ley barométrica a condiciones atmosféricas?

31

Ley Barométrica: Aplicación

A) Estado Inicial: Igual T y P sobre la tierra y el océano $T_t=T_o$; $P_t=P_o$

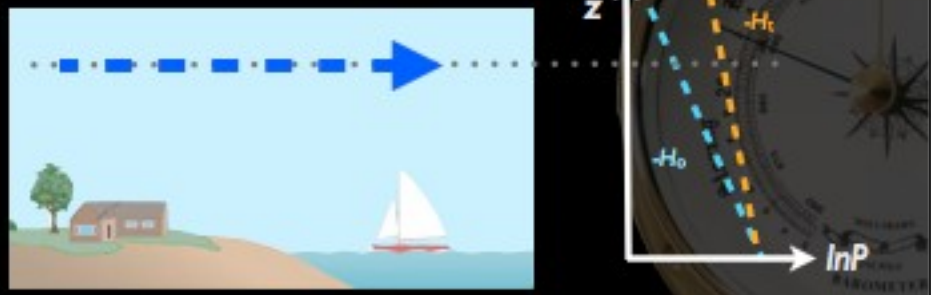


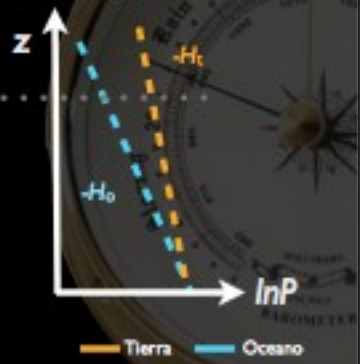


32

Ley Barométrica: Aplicación

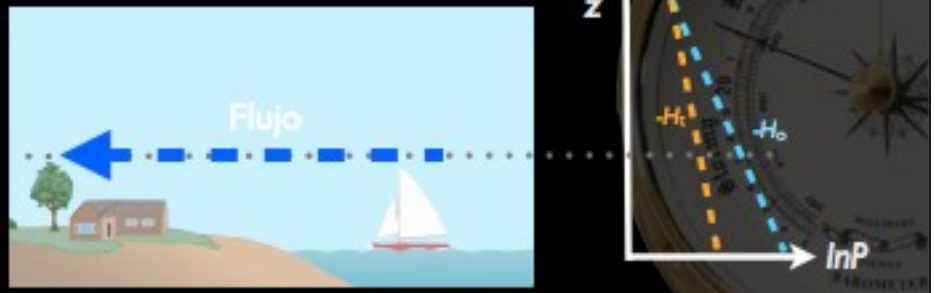
B) Estado Inicial: La tierra se calienta mas que el océano
$T_t > T_o$; $H_t > H_o$ implica que $P_t(z) > P_o(z)$

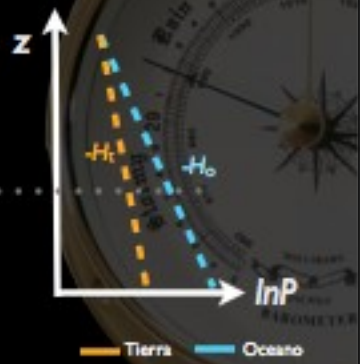




Ley Barométrica: Aplicación

C) Estado Inicial: Si $T_t < T_o$; $H_t < H_o$ implica que $P_t(z) < P_o(z)$



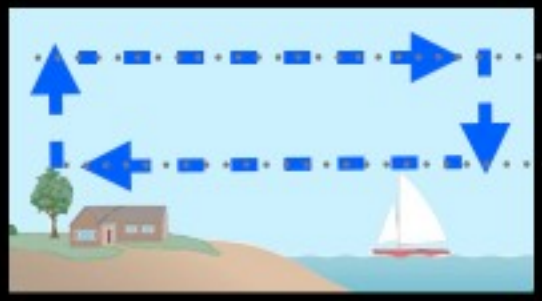


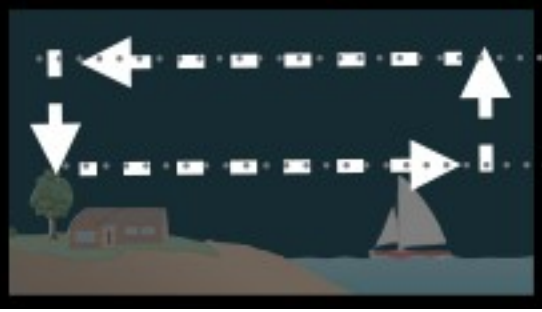
Ley Barométrica: Aplicación

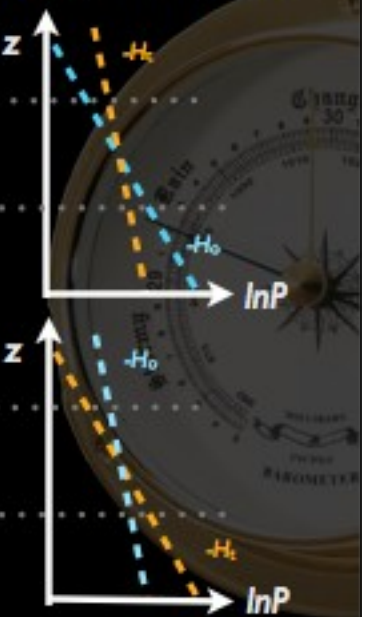
D) A alta altitud flujo de tierra al oceano y a baja altitud es del oceano a la tierra

35

Ley Barométrica: Aplicación



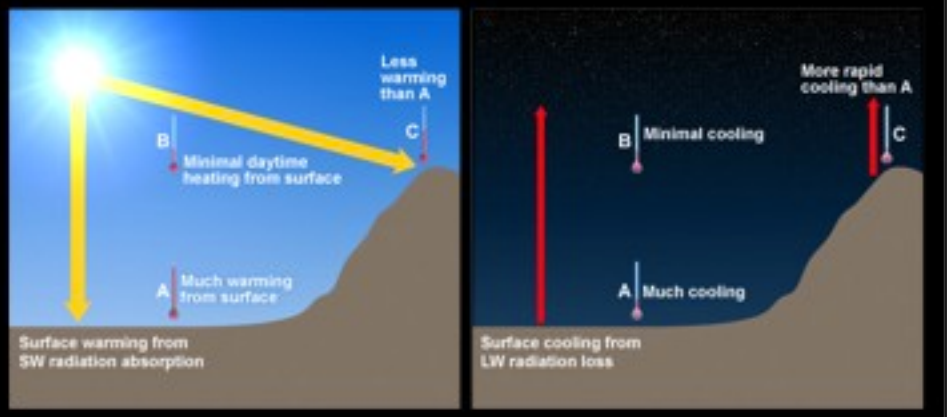




36

Ley Barométrica: Aplicación

¿Explique la circulacion valle montaña?



37

Gradiente horizontal de presión

$$P(z_1)_{\text{ciudad A}} = P(z_1)_{\text{ciudad B}}$$

$$\rho(z_1)_{\text{ciudad A}} = \rho(z_2)_{\text{ciudad B}}$$

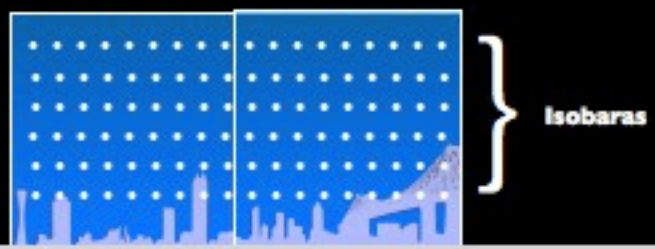
$$T(z_1)_{\text{ciudad A}} = T(z_2)_{\text{ciudad B}}$$

$$P(z_1)_{\text{ciudad A}} = P(z_2)_{\text{ciudad B}}$$

$$P(z_0)_{\text{ciudad A}} = P(z_0)_{\text{ciudad B}}$$

38

Gradiente horizontal de presión

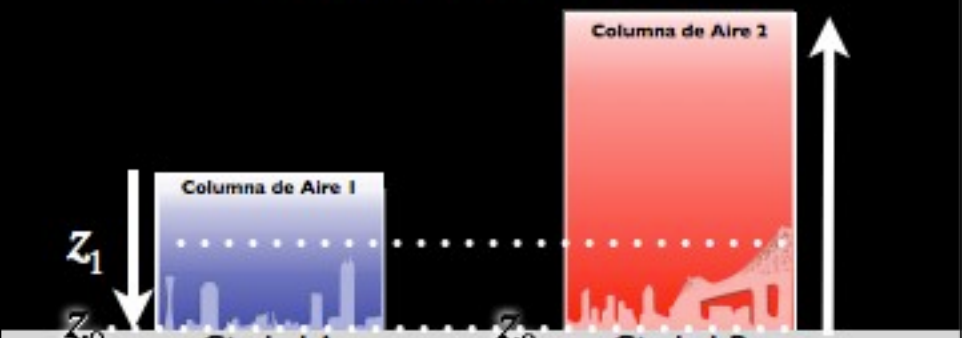


39

Gradiente horizontal de presión

Gradiente de presión

$$P(z_1)_{\text{ciudad A}} \neq P(z_1)_{\text{ciudad B}}$$



$$P(z_1)_{\text{ciudad A}} = P(z_2)_{\text{ciudad B}}$$

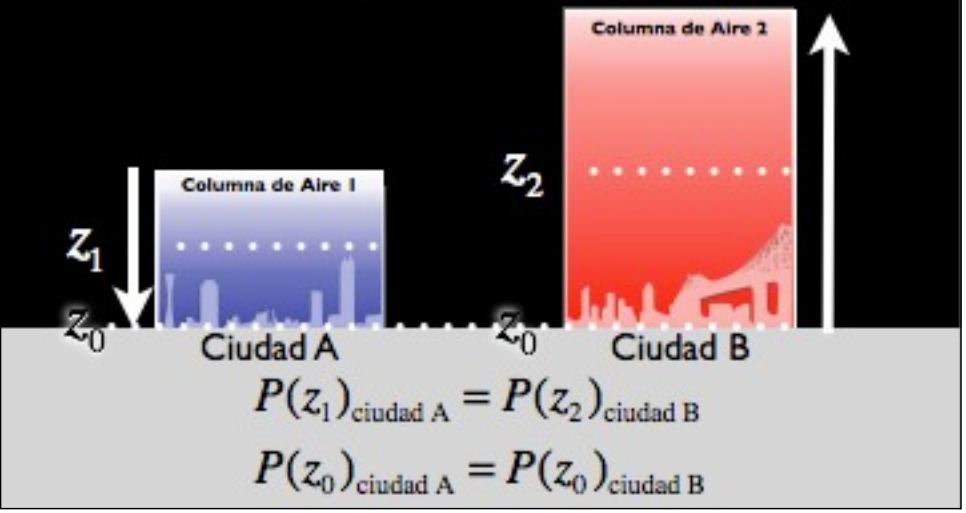
$$P(z_0)_{\text{ciudad A}} = P(z_0)_{\text{ciudad B}}$$

40

Gradiente horizontal de presión

$$\rho(z_1)_{\text{ciudad A}} > \rho(z_2)_{\text{ciudad B}}$$

$$T(z_1)_{\text{ciudad A}} < T(z_2)_{\text{ciudad B}}$$



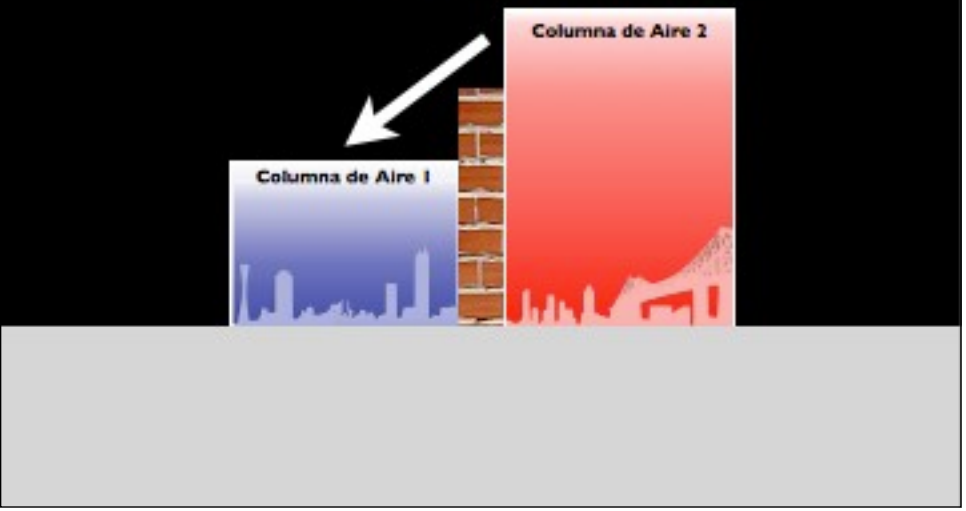
$$P(z_1)_{\text{ciudad A}} = P(z_2)_{\text{ciudad B}}$$

$$P(z_0)_{\text{ciudad A}} = P(z_0)_{\text{ciudad B}}$$

41

Gradiente horizontal de presión

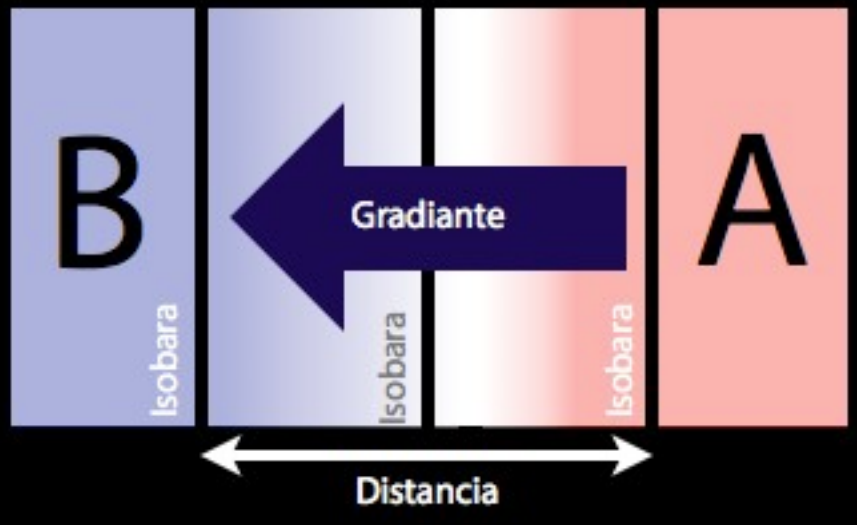
Gradiente de presión
La atmósfera es un fluido



42

Gradiente horizontal de presión

Gradiente: El cambio en el valor de una cantidad sobre una distancia.



43

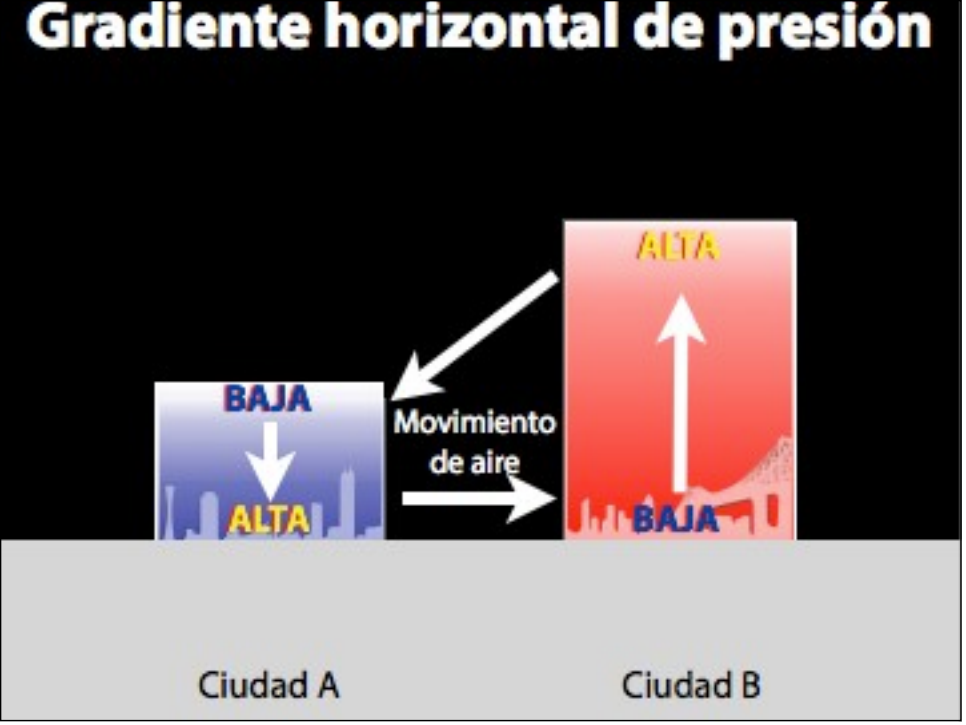
Gradiente horizontal de presión

Cambio pequeño en una distancia corta.

Cambio grande en una distancia corta.

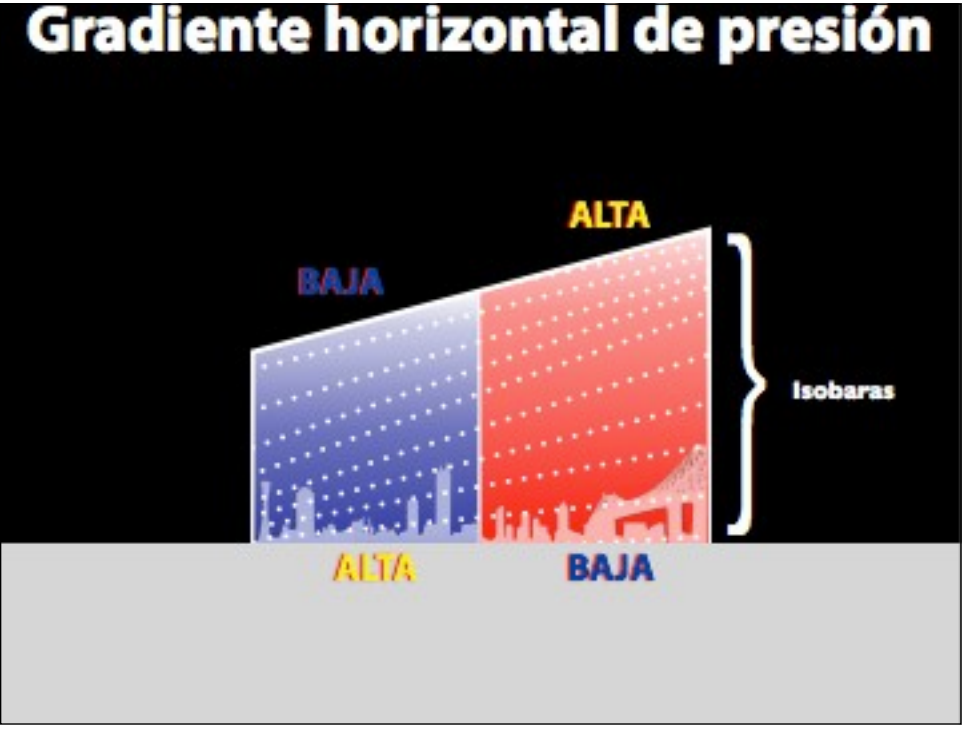
44

Gradiente horizontal de presión



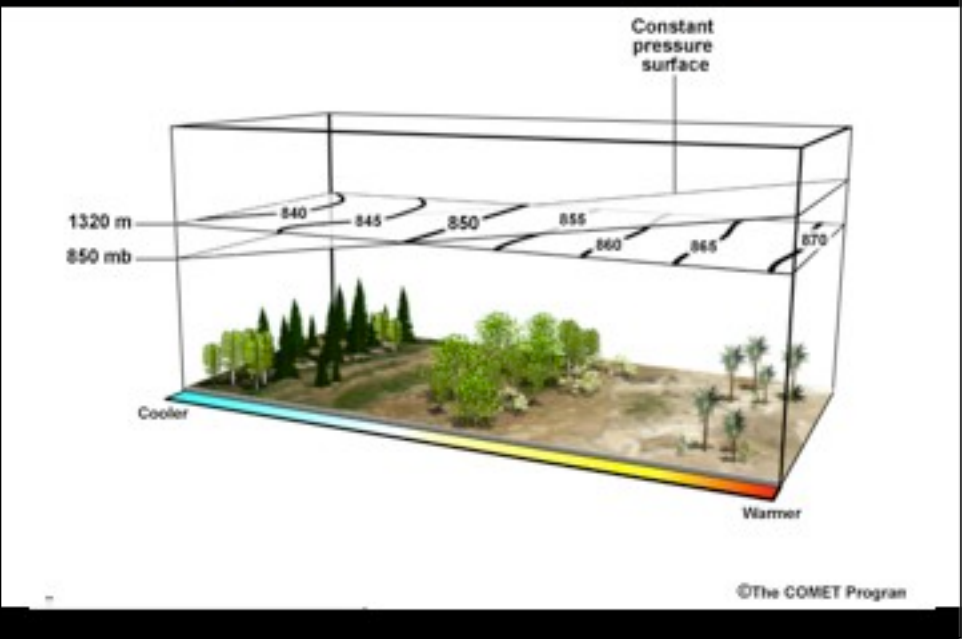
45

Gradiente horizontal de presión



46

Gradiente horizontal de presión



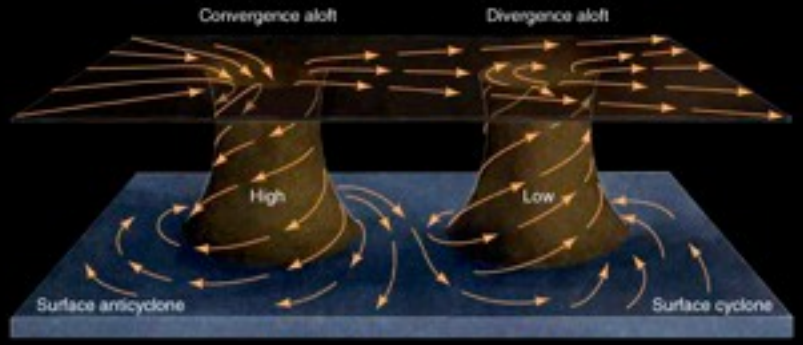
47

Gradiente horizontal de presión

$$FGP = \frac{1}{\rho}\frac{\Delta P}{\Delta x}$$

48

Gradiente horizontal de presión



Surface isobars as they appear on a map

Copyright 1999 John Wiley and Sons, Inc. All rights reserved.

49

PREGUNTA A RESOLVER

Encuentre un modelo de la variación vertical de la presión atmosférica, si:

1. La atmósfera tiene densidad constante con la altura.
2. Considerando el resultado anterior. Calcule la altura en la cual se alcanza una presión de cero. ¿Cómo puede interpretar esta altura?
3. La atmósfera se comporta como gas ideal
4. La temperatura decrece linealmente con la altura hasta la base de la tropopausa

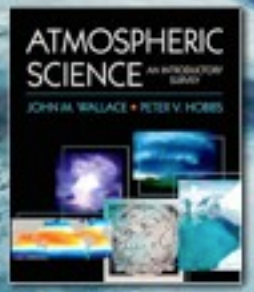
Hint: considere la variación de la temperatura como:

$$T(z) = T(z_0) - \frac{g}{C_p}(z - z_0) = T(z_0) + \Gamma(z - z_0)$$

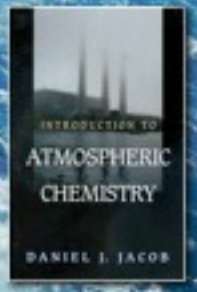
50

TERMODINÁMICA DE LA ATMÓSFERA

Parte I



Capitulo 3.
Atmospheric Thermodynamics



Capitulo 2.
ATMOSPHERIC PRESSURE