

# GF 3003 Introducción a las Ciencias Atmosféricas

## Control 2 SP 2010

Profesora de Cátedra: Laura Gallardo

Profesoras Auxiliares: Constanza Maturana, Constanza Paredes, Lucía Scaff

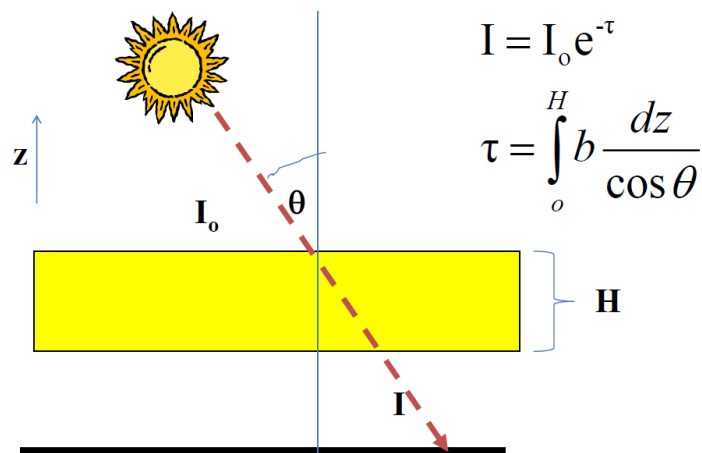
Octubre 21 de 2010

Tiempo máximo disponible: 2.0 horas (120 minutos).

**Sé muy clar@ y explícit@ en tus respuestas.** En los resultados numéricos considera el número correcto de cifras significativas.

### 1. Conceptos

- Arcoíris, halos, el azul del cielo, el rojo de los atardeceres, el blanco de los estratocúmulos vistos desde arriba, etc., se explican a través de las interacciones entre radiación electromagnética y moléculas, gotas de agua y aerosoles. Explica brevemente uno de estos fenómenos indicando cómo se compara la longitud de onda de la radiación incidente y el tamaño del objeto con que interactúa. [1.5 puntos]
- Si se considera una capa atmosférica de espesor  $H$  como la indicada en la figura, la luz solar de longitud de onda  $\lambda$  puede ser atenuada parcialmente, esto es, la intensidad de la radiación monocromática  $I_0$  disminuye exponencialmente de acuerdo al llamado espesor óptico  $\tau$ . ¿De qué depende dicha atenuación (parámetro  $b$  en la ecuación de Lambert-Beer-Bouguer indicada en la figura)? Considera tanto la interacción con gases como con partículas. [1.5 puntos]

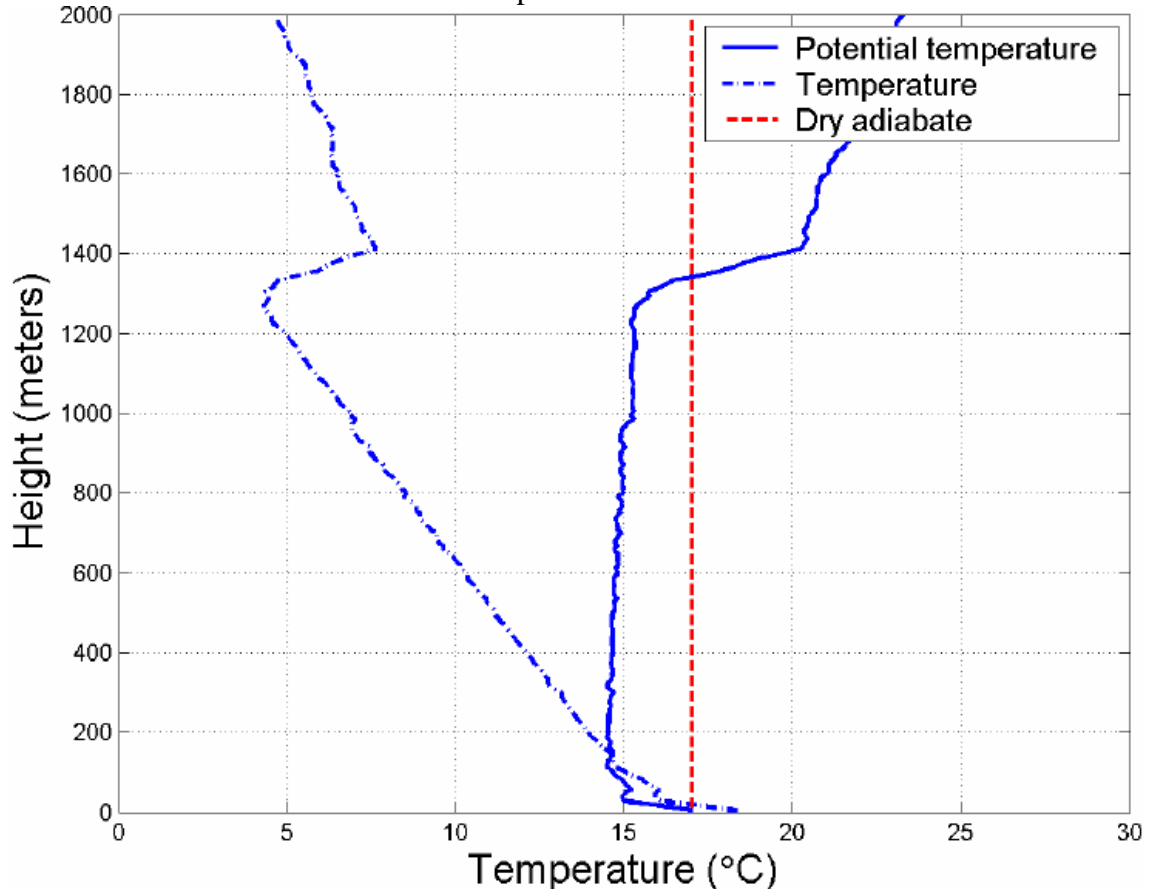


El parámetro  $b$  caracteriza los procesos de absorción y dispersión tanto por partículas como por gases.

- En la ciudad de Vantaa, en Finlandia a las 9 AM (hora local), en Mayo de 2002, se observó el siguiente perfil de temperatura potencial (línea continua). En la figura también se indica la adiabática seca correspondiente (línea punteada). [3.0 puntos]
  - ¿Qué puedes decir de la estabilidad para este perfil?

La adiabática medida es, grosso modo, paralela a la adiabática seca, por lo tanto, la condición es neutra y en esa capa hay mezcla.

- Dibuja en el diagrama la temperatura convencional correspondiente. No se observaban nubes cerca de la superficie.



Obtenido de Eresmaa et al 2005. Atmospheric Chemistry and Physics.

- Estima el espesor de la capa de mezcla.

$H \sim 1300$  m

## 2. Temperatura potencial equivalente

La temperatura potencial ( $\theta$ ) puede entenderse como una corrección a la temperatura convencional de modo de considerar el enfriamiento/calentamiento por expansión/compresión adiabática, esto es, una temperatura corregida por el efecto de la

presión que desciende con la altura en atmósfera:  $\theta = T \left( \frac{p_s}{p} \right)^{R/c_p}$

donde  $p_s$  se suele elegir como 1000 hPa (presión típica a nivel de superficie) y  $R$  es la constante de aire seco y  $c_p$  el calor específico a presión constante.

Por otro lado, por principio de conservación de la energía, se cumple que:

$dq = c_p dT - \alpha dp$  donde  $q$ ,  $T$ ,  $\alpha$  y  $p$  indican calor, temperatura, volumen específico (inverso de la densidad) y presión respectivamente. Considerando que en presencia de aire saturado, se libera calor latente según:  $dq = -Ldw_s$  y que en buena aproximación:

$$d \left( \frac{Lw_s}{c_p T} \right) \approx \frac{L}{c_p T} dw_s$$

donde  $L$  es el calor latente de vaporización y  $w_s$  es la razón de mezcla de saturación de agua.

- a) Encuentra una corrección a la temperatura potencial, considerando ahora el efecto de la liberación de calor latente de toda el agua contenida en una parcela de aire. Es decir, demuestra que:

$$-\frac{Lw_s}{c_p T} \approx \ln \theta + \text{constante} \quad [4.0 \text{ puntos}]$$

- b) ¿Cómo se debe elegir la constante de modo que:

$$\theta_e = \theta \exp\left(\frac{Lw_s}{c_p T}\right) \quad [2.0 \text{ puntos}]$$

Esta cantidad se llama **temperatura potencial equivalente** y corresponde a la temperatura potencial de una parcela de aire cuando todo el vapor de agua ha condensado de modo que  $w_s$  es nulo.

### 3.5.5 Equivalent Potential Temperature and Wet-Bulb Potential Temperature

We will now derive an equation that describes how temperature varies with pressure under conditions of

saturated adiabatic ascent or descent. Substituting (3.3) into (3.46) gives

$$\frac{dq}{T} = c_p \frac{dT}{T} - R \frac{dp}{p} \quad (3.66)$$

From (3.54) the potential temperature  $\theta$  is given by

$$\ln \theta = \ln T - \frac{R}{c_p} \ln p + \text{constant}$$

or, differentiating,

$$c_p \frac{d\theta}{\theta} = c_p \frac{dT}{T} - R \frac{dp}{p} \quad (3.67)$$

Combining (3.66) and (3.67) and substituting  $dq = -L_v dw_s$ , we obtain

$$-\frac{L_v}{c_p T} dw_s = \frac{d\theta}{\theta} \quad (3.68)$$

In Exercise 3.52 we show that

$$\frac{L_v}{c_p T} dw_s \simeq d \left( \frac{L_v w_s}{c_p T} \right) \quad (3.69)$$

From (3.68) and (3.69)

$$-d \left( \frac{L_v w_s}{c_p T} \right) \simeq \frac{d\theta}{\theta}$$

This last expression can be integrated to give

$$-\frac{L_v w_s}{c_p T} \simeq \ln \theta + \text{constant} \quad (3.70)$$

We will define the constant of integration in (3.70) by requiring that at low temperatures, as  $w_s/T \rightarrow 0$ ,  $\theta \rightarrow \theta_0$ . Then

We will define the constant of integration in (3.70) by requiring that at low temperatures, as  $w_s/T \rightarrow 0$ ,  $\theta \rightarrow \theta_e$ . Then

$$-\frac{L_v w_s}{c_p T} \simeq \ln \left( \frac{\theta}{\theta_e} \right)$$

or

$$\theta_e \simeq \theta \exp \left( \frac{L_v w_s}{c_p T} \right) \quad (3.71)$$

The quantity  $\theta_e$  given by (3.71) is called the *equivalent potential temperature*. It can be seen that  $\theta_e$  is the potential temperature  $\theta$  of a parcel of air when all the water vapor has condensed so that its saturation mixing ratio  $w_s$  is zero. Hence, recalling the definition of  $\theta$ , the equivalent potential temperature of an air parcel may be found as follows. The air is expanded (i.e., lifted) pseudoadiabatically until all the vapor has condensed, released its latent heat, and fallen out. The air is then compressed dry adiabatically to the standard pressure of 1000 hPa, at which point it will attain the temperature  $\theta_e$ . (If the air is initially unsaturated,  $w_s$  and  $T$  are the saturation mixing ratio and temperature at the point where the air first becomes saturated after being lifted dry adiabatically.) We have seen in Section 3.4.3 that potential temperature is a conserved quantity for adiabatic transformations. The equivalent potential temperature is conserved during both dry and saturated adiabatic processes.

### 3. Diagrama termodinámico

La figura muestra un sondeo de temperatura ( $T$ ) y temperatura de rocío ( $T_d$ ) sobre la ciudad de Puerto Montt ( $41.43^\circ\text{S}$ ,  $73.10^\circ\text{W}$ ) a las 12Z, esto es, a las 8 AM hora local del 20 de Octubre de 2010. Este es un diagrama conocido como "Stüve". Dicho diagrama usa como abscisa isotermas (igual temperatura) y como ordenada la presión ( $p$ ) elevada a la potencia  $k=R/c_p=0.286$ . De esta forma, las adiabáticas (igual temperatura potencial,  $\theta$ ) son líneas rectas. Además, se indican líneas de razón de mezcla de saturación de vapor de agua ( $w_s$ ) y las adiabáticas húmedas ( $\theta_s$ ).

Un avión despegue desde el aeropuerto El Tepual (muy cerca del lugar donde se realiza el sondeo) y emprende vuelo hacia el sur. Supón que el avión asciende hasta los 500 hPa en 15 minutos, con una velocidad vertical aproximadamente constante. A partir de la información contenida en el sondeo:

- a) ¿Cuántos minutos transcurren hasta que los pasajeros (que observan a través de las ventanillas) tienen la posibilidad de ver cielo azul? [1.5 puntos]

Hay una capa nubosa donde  $T=T_d$ , o sea, unos 3000 m de espesor o desde 100 m hasta unos 700 hPa. Si el avión asciende 500 hPa en 15 minutos, entonces, aproximadamente, se demorará 9 minutos en ascender 300 hPa. Y entonces, saldrá de la nue y los pasajeros podrán ver algo de cielo azul. Claro que a 5500 m parece haber otra nube, no muy gruesa.

- b) Las inversiones térmicas suelen resultar en movimientos turbulentos perceptibles, ¿dónde –a qué altitud- debieran percibir este fenómeno los pasajeros si el avión asciende hasta los 10 mil metros (altitud crucero)? [1.5 puntos]

Hay dos inversiones principales, esto es, tramos donde la temperatura aumenta con la altura en lugar de disminuir, una al tope de la nube donde se encuentra una masa de aire seco ( $T \gg T_d$ ) y otra más arriba de los 10000 m (probablemente la tropopausa). De modo que posiblemente los pasajeros sentirán turbulencia al salir de la nube y algo si sobrepasan la inversión a 250 hPa.

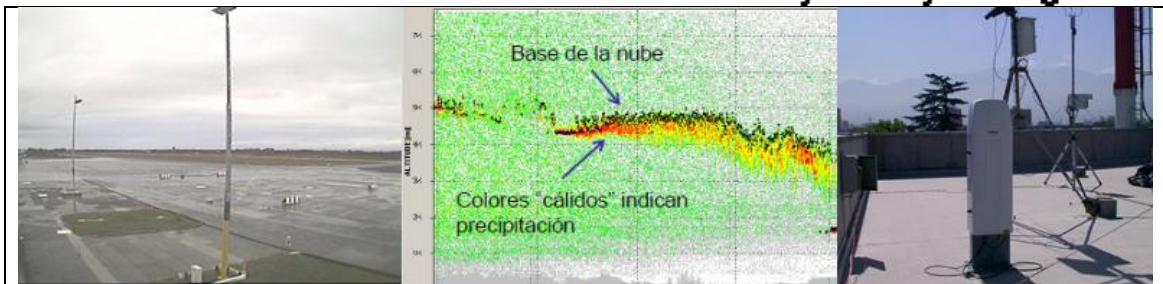
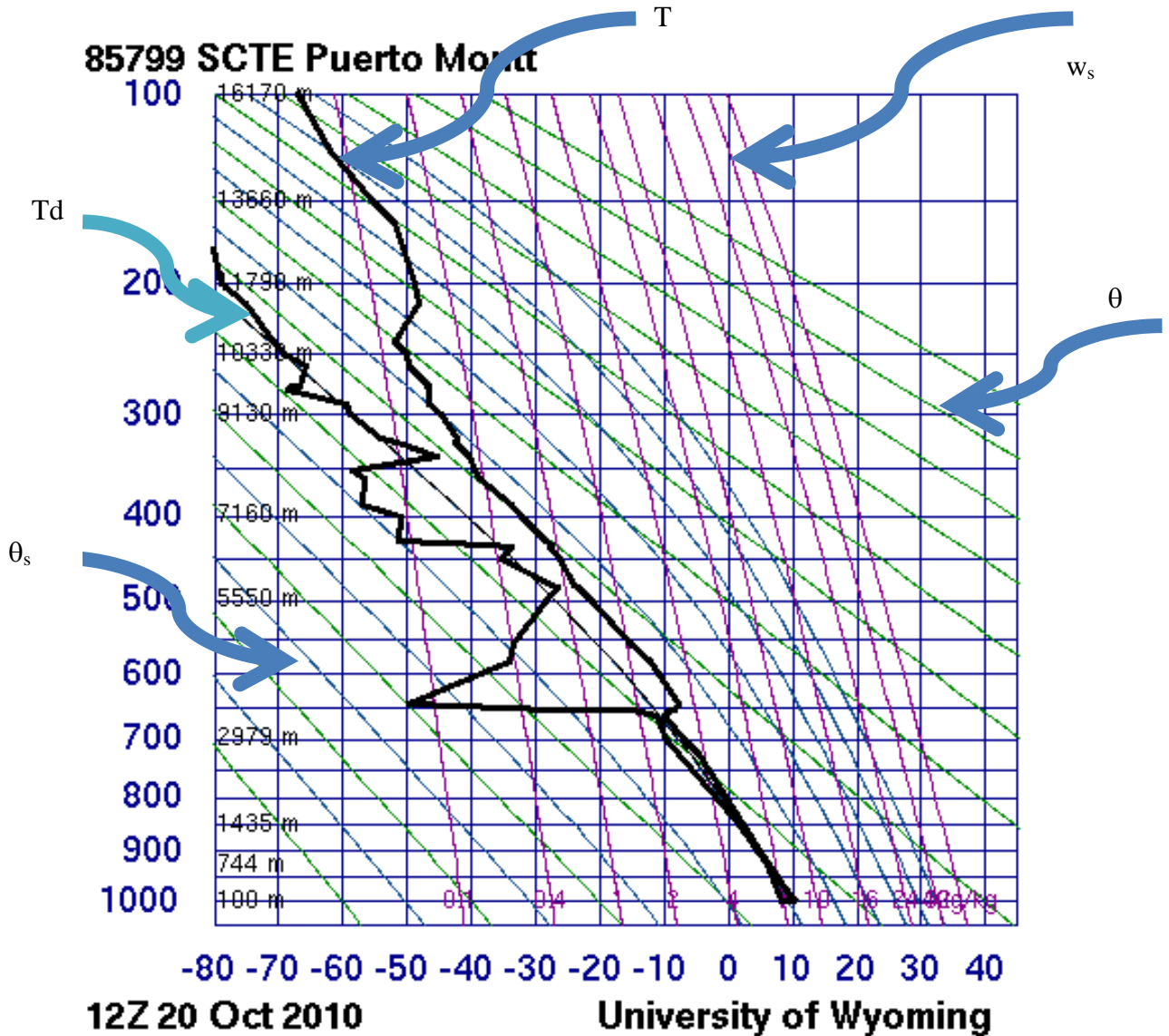
- c) Si a nivel de suelo (la presión era  $p \sim 1020$  hPa), la temperatura era de  $10^\circ\text{C}$  y la humedad relativa del 80%, dibuja el perfil de temperatura potencial y de razón de mezcla de vapor de agua desde el suelo hasta el nivel de condensación por ascenso. [1.5 puntos]

Como el proceso es adiabático, necesariamente la temperatura potencial se conserva. Como el agua no ha condensado ni ha precipitado, la razón de mezcla de vapor de agua también debe permanecer constante. De modo que ambas variables tienen pendiente nula en un gráfico contra la altura sobre el suelo.

- d) Supón que en el aeropuerto se cuenta con un instrumento que funciona sobre la base de enviar una señal de luz amplificadas y colimadas (LASER) y recibirla la dispersión de la misma en el mismo punto, cuándo ésta interactúa con las gotas de nubes (Este instrumento se llama Nefobasímetro y en Inglés Ceilometer). Discute cómo se podría inferir o estimar la altura de la base de la nube. Se adjunta la imagen de la señal de un nefobasímetro en condiciones

similares a las de este ejercicio (En ese caso, la base de la nube se encontraba a 400 m sobre el suelo). [1.5 puntos]

Hay que dar tiempo para el haz de luz llegue hasta la base de la nube y luego se devuelva al receptor. Como la luz tienen una velocidad de propagación constante  $c$  e igual aca. 300000 km/s (un poco menos en un dieléctrico como el aire), entonces la distancia ( $D$ ) a la base de la nube será:  $D=cT^*/2$ , con  $T^*$  el tiempo que transcurre entre que el pulso sale desde el emisor y vuelve.



El panel de la izquierda muestra la imagen desde la loza del aeropuerto El Tepual (Puerto Montt) a la hora del sondeo y el despegue. (<http://www.aipchile.cl/camara/show/id/57>). La del medio muestra una señal de nefobasímetro en presencia de nubosidad que empieza a precipitar. Y el panel de la derecha muestra el nefobasímetro del Departamento de Geofísica.