Problemas de Meteorología y Climatología
Tercer curso de Ciencias Ambientales
Curso 2004-05

11 de noviembre de 2004

Profesores:
José Enrique García Ramos
Francisco Pérez Bernal
José Rodríguez Quintero

Departamento de Física Aplicada
Universidad de Huelva

1. Determinar el valor de la constante de la ley de Stefan-Boltzmann ($\sigma = 5{,}67\,10^{-8}$ W m^{-2} K^{-4}) en unidades del sistema CGS y en Lang min^{-1} K^{-4}. Nota 1 Langley = 1 cal cm^{-2}.

   Solución: $\sigma = 5{,}67\,10^{-5}$ erg cm^{-2} s^{-1} K^{-4} = $8{,}13\,10^{-11}$ Lang min^{-1} K^{-4}.

2. Calcular el flujo de energía radiante emitido por la Tierra, considerada como un cuerpo negro esférico a la temperatura de 300 K y cuyo radio es de 6370 Km. ¿Cuál es el poder emisivo total (irradiancia) de la Tierra?

   Solución: $M = 459{,}3$ W m^{-2}, $P = 2{,}3\,10^{17}$ W.

3. El almacenador de energía de una central solar está constituido por una cisterna cilíndrica de 2 m de diámetro y 4 m de altura, cuya superficie presenta una emisividad de 0,5 y que contiene aceite a la temperatura de 150°C. La cisterna está situada en un recinto en el que la temperatura se mantiene constante e igual a 27°C y se observa que las pérdidas de calor radiante son muy elevadas, por lo que vuelve a repintarse la cisterna con un barniz de emisividad 0,3. Calcular el tanto por ciento de reducción de pérdidas de flujo de energía radiante si **(a)** el coeficiente de emisividad es idéntico a ambas temperaturas **(b)** el depósito se comporta como un cuerpo negro al absorber la energía radiante del entorno. Calcular también la potencia emitida por el depósito para ambos valores de la emisividad.

   Solución: (a) 40 %, $P = 25663$ W; (b) 81 %, $P = 15398$ W.

4. Una esfera metálica de 1 m de radio se calienta a 1027° C. La esfera está recubierta de una capa de pintura de emisividad 0,8. Calcular el flujo de radiación térmica que recibirá una superficie circular de cuerpo negro de 2 cm de radio situada perpendicularmente al radio de la esfera y a 200 m de distancia del centro de la misma.

   Solución: $P = 4{,}07\,10^{-3}$ W

5. Calcúlese la temperatura de equilibrio de una superficie horizontal con albedo $a = 0{,}4$ en una latitud de 40°N a las 12 : 00 horas del mediodía del **(a)** equinoccio de primavera, **(b)** solsticio de verano, sabiendo que la constante solar $S = 1400$ W y que se desprecian los efectos debidos a la conducción del calor.

   Solución: (a) $T_{eq} = 53{,}4$°C , (b) $T_{eq} = 72{,}1$°C .

6. Las estrellas pueden considerarse como cuerpos negros. Si se sabe que las longitudes de onda correspondientes a las intensidades máximas de emisión son para la estrella Vega de 2070 Å (ultravioleta) y para la estrella Antares 11600 Å (infrarrojo), determinar las temperaturas de las superficies de ambas, así como su emitancia radiante. Nota: 1 Å=10^{-10} m.

   Solución: Vega: $T = 14010$ K, $M = 2{,}18\,10^{9}$ W/m^2; Antares: $T = 2500$ K, $M = 2{,}20\,10^{6}$ W/m^2.

7. Imagina un planeta X sin atmósfera situado a una distancia del Sol $R_{X-S} = 1{,}5 \times 10^{8}$ Km. Si su albedo es $a = 0{,}35$, ¿cual será su temperatura de equilibrio?. Imagina la presencia de agua en abundancia en ese planeta, sabiendo que el albedo promedio para superficies heladas es $a = 0{,}85$, ¿cuál será, en esas condiciones, la temperatura de equilibrio? ¿Serían diferentes tus anteriores respuestas si el planeta **X** tuviese el tamaño de la Tierra o el de Marte?. (Considera al planeta X y al Sol como cuerpos negros perfectos).

Datos: $R_S = 6{,}48 \times 10^5$ Km; $T_S = 6000$ K.

Solución: $T_{eq} = 259$ K si $a = 0{,}35$ y $T_{eq} = 180$ K si $a = 0{,}85$.

8. El Sol puede considerarse como un cuerpo negro a temperatura de 6000 K. Determinar la longitud de onda correspondiente a la intensidad de emisión máxima de la radiación solar.

   Solución: $\lambda_M = 483$ nm.

9. La longitud de onda correspondiente a la intensidad de emisión máxima de la radiación solar es 4800 Å. ¿Cuál es la temperatura de la superficie solar?. ¿A qué longitud de onda correspondería la emisión de intensidad máxima si la temperatura de la superficie del Sol aumentara 2000°C?

   Solución: $T_S = 6041$ K, $\lambda_M = 360$ nm.

10. Calcular la temperatura de la superficie del Sol, considerado como un cuerpo negro esférico de $7 \cdot 10^5$ Km de radio, suponiendo que la Tierra describe una órbita circular a su alrededor de $1{,}5 \cdot 10^8$ Km de radio y sabiendo que el valor de la constante solar es de 2 Langley$\cdot$min^{-1}.

    Solución: $T_S = 5798$ K.

11. El valor de la constante solar es de 2 Langley $\cdot$ min^{-1}, obtenido al tomar el Sol como un cuerpo negro a la temperatura de 6000 K. ¿Cuál sería la temperatura de equilibrio de radiación de la Tierra en ausencia de atmósfera si su superficie recibiera 0,5 Langley$\cdot$min^{-1} de radiación solar? ¿Cual sería la temperatura de la superficie del Sol en estas condiciones si el radio del sol fuera $7\,10^5$ Km y la distancia media tierra-sol fuera de $1{,}5 \cdot 10^8$ Km?

    Solución: $T_{eq} = 198$ K, $T_S = 4100$ K.

12. Calcular la cantidad de calor por unidad de área y unidad de tiempo expresada en kcal cm$^{-2}\cdot h^{-1}$ que ha de transmitir la Tierra a la atmósfera por procesos no radiativos para que se establezca el equilibrio, sabiendo que la superficie terrestre recibe 0,261 Langley min^{-1} en forma de radiación solar directa y difusa, que recibe también 0,456 Langley min^{-1} procedente de la atmósfera en forma de radiación de onda larga y que la radiación de onda larga de la Tierra hacia la atmósfera y el espacio es de 0,567 Langley min^{-1}. Determinar también la temperatura de la superficie terrestre suponiendo que radia como un cuerpo negro.

    Solución: $M = 0{,}009$ kcal/cm^{2}h; $T = 289$ K.

13. Un telescopio con un objetivo de un metro de radio está dotado de un dispositivo que permite medir la energía recibida por cada frecuencia. Orientando el telescopio hacia una estrella lejana de tipo medio, medimos que la longitud de onda para la que se obtiene el máximo de energía es $\lambda = 4700$ Å, y que tras 20 minutos de exposición la energía total recibida, barriendo todas las frecuencias, es de 6 mJ. ¿A qué distancia se encuentra la estrella, si suponemos que su radio es el del Sol? (Nota: $R_s = 7 \cdot 10^5$ Km)

    Solución: $D = 6{,}2\,10^{15}$ m.

14. Es bien sabido que los termómetros para medir la temperatura no pueden estar expuestos directamente al sol. Considere dos termómetros con idéntica emisividad ε para longitudes de onda largas (correspondientes a la radiación que emiten) pero con diferente emisividad para longitudes de onda cortas (correspondientes a la radiación que absorben), $\varepsilon_1 > \varepsilon_2$. Si sobre ambos termómetros incide directamente la radiación solar, calcule cuál alcanzará mayor temperatura.

    Solución: $T_1 > T_2$.

15. Suponga que el ángulo de inclinación del eje de rotación de la Tierra respecto al vector normal a la eclíptica pasa a ser de 30°. Indique las latitudes de los círculos polares y de los trópicos.

    Solución: Círculo Polar Norte (Sur): 60°N (S). Trópico Norte (Sur): 30°N (S).

16. El valor de la constante solar es $S = 1400$ W/m^2. Si la distancia Tierra-Sol aumenta un 6 % calcule el nuevo valor de la constante solar y la nueva temperatura de equilibrio teniendo en cuenta que el albedo de la tierra $a = 0{,}3$. A la vista del resultado, ¿debe comentar algo acerca de la validez del valor de la temperatura calculado?

    Solución: $S' = 1246$ W/m^2, $T_e = 249$ K.

17. Calcular la variación de temperatura que experimentará 1 g de aire seco sometido a una presión de 1010 hPa y a una temperatura de 10°C cuando se le aportan 6 cal manteniendo constante la presión y a continuación la presión desciende en 40 hPa mediante un proceso adiabático.

    Solución: $\Delta T = 21{,}5$ K.

18. Calcular la variación de temperatura experimentada por 1 kg de aire seco cuando recibe 400 cal a volumen constante y a continuación pierde 220 cal a presión constante.

    Dato: $c_p(as) = 1{,}0046$ J/gK.

    Solución: $\Delta T = 1{,}42$ K.

19. Determinar el calor que sería necesario aplicar a una burbuja de aire seco de 1 kg de masa si su temperatura disminuye 25° C debido a un ascenso de 3,5 km. Calcular el trabajo de expansión que acompaña a este proceso. Suponer $T/T' \approx 1$.

    Solución: $Q = 9185$ J, $W = 27060$ J.

20. Con el objeto de elevar un globo meteorológico, se calienta el aire en su interior por medio de un soplete, mientras está amarrado a tierra, hasta comunicarle 54,5 kcal.

    Datos: $\mathrm{m_b}$=5 kg, $c_p = 0{,}24$ cal/(g °C)

    (a) ¿Cuál será la temperatura de la masa de aire en el interior del globo cuando se apaga el soplete?

    (b) Suponiendo las paredes del globo ideales para aproximar la masa de aire en su interior como una burbuja, y sabiendo que la temperatura en tierra es de 25°C y que al paso por los 750 m sobre el nivel del suelo se han registrado 19,75°C, ¿a qué altura alcanzará el globo el equilibrio y detendrá su ascensión ?

(c) Si el soplete calienta a un ritmo de 0,5 kcal/min, ¿cuanto tiempo tenemos que tener encendido el soplete para que el globo alcance los 2000 m?

Solución: (a) $T = 343{,}4$ K; (b) $H \approx 11000$ m; (c) $t = 14{,}4$ min.

21. Una burbuja de aire seco con gran contenido en partículas de polvo absorbe por radiación 50 cal/kg por cada 100 m de ascenso. Determinar la variación de temperatura experimentada por la burbuja tras un ascenso de 1000 m. Suponer $T/T' \approx 1$.

    Solución: $\Delta T = -7{,}7$ K.

22. Una burbuja de aire seco con gran contenido en partículas de polvo absorbe gran cantidad de radiación a un ritmo constante de 100 cal/kg cada 100 m. Si suponemos que la burbuja asciende en una situación de permanente equilibrio, es decir con $T_{\mathrm{b}}(z)/T_{\mathrm{at}}(z) \simeq 1$:

    (a) ¿Cuál será el descenso de temperatura cuando el ascenso de la burbuja sea de 1000 m?

    (b) Demostrar que el proceso es politrópico y calcular el calor específico por unidad de masa del proceso y el índice politrópico.

    (c) La ascensión de la burbuja, bajo las anteriores condiciones, se produce a velocidad constante, ¿por qué?. Si la burbuja tiene una masa de 5100 kg y podemos suponer que la energía recibida por radiación proviene del Sol, determinar cuál sería el flujo de energía (energía total por unidad de tiempo) recibido desde el Sol, tomado como un cuerpo negro de $T = 6000$ K, y considerando la burbuja esférica de radio $r_b = 10$ m como un cuerpo con emisividad $\epsilon = 0{,}7$. ¿Cuál será la velocidad de ascensión de la burbuja? (suponed que la burbuja se encuentra a la misma distancia del Sol que la propia Tierra, datos: $R_S = 7{,}10^5$ Km, $R_{T-S} = 1{,}5 \cdot 10^8$ Km, $\sigma_0 = 8{,}16 \cdot 10^{-11}$ Langley /(min·K^4))

    Solución: (a) $\Delta T = -5{,}6$ K; (b) $c = -749$ J/kgK, $\gamma_p = 1{,}2$; (c) $P = 3{,}5\,10^5$ W, $v = 16{,}4$ m/s.

23. Demostrar que si una burbuja de aire seco de masa m asciende adiabática y reversiblemente su trabajo de expansión puede ser calculado mediante la ecuación:

$$\delta W = m\frac{g}{x}\frac{T}{T'}dz,$$

    siendo x el índice adiabático ($x = c_p/c_v$). Encontrar una expresión análoga para el caso de una evolución politrópica.

24. Una burbuja de aire seco con una temperatura de 15°C y una presión de 1010 hPa asciende adiabáticamente hasta un nivel donde la presión es de 700 hPa. Determinar la temperatura de la burbuja en el nivel superior.

    Solución: $T_b = 259{,}4$ K.

25. Determinar la variación de temperatura de una burbuja de aire seco que asciende mediante un proceso politrópico en el cual la densidad de la burbuja no varía. Suponer $\rho = \rho'$.

    Solución: $dT/dz = -\frac{g}{c_p - c}$.

26. Sabiendo que el gradiente de una evolución politrópica (Γ_p) es igual a 0,5°C por cada 100 m de ascenso, determinar el calor específico de la evolución.

    Solución: $c = -955$ J/kg K.

27. Determinar el calor específico de una evolución politrópica sabiendo que se verifica la siguiente ecuación: $PV^3 =$ cte.

    Solución: $c = 0{,}574$ J/gK.

28. Una burbuja de aire seco asciende mediante una evolución politrópica. Si la temperatura de la burbuja disminuye 0,7°C por cada 100 m de ascenso, determinar el exponente politrópico, la variación de calor con la altura y el calor específico.

    Solución: $c = -395{,}4$ J/kg K, $\gamma_p = 1{,}26$, $\delta q/dz = 2{,}8$ J/m kg.

29. Un masa de aire seco tiene una temperatura de 5°C en el nivel de 1010 hPa y asciende siguiendo una ley politrópica de calor específico negativo igual a $c = -0{,}07$ cal/(g K). Calcular la temperatura que tendrá la masa de aire al llegar al nivel 850 hPa.

    Solución: $T = 268$ K.

30. Los datos de un radiosondeo arrojan los siguientes valores de presión y temperatura:

P (hPa)	1022	987	810	740	578
T (°C)	17	10	4	0	-12

    Calcular las temperaturas potenciales para cada punto y determinar las condiciones de estabilidad de la atmósfera.

    Solución: $\theta(K) = \{288{,}2, 284{,}1, 294{,}2, 297{,}6, 305{,}3\}$. La atmósfera es inestable sólo entre los dos primeros puntos.

31. Dada una atmósfera con un gradiente vertical de temperatura $\alpha = 0{,}65°$ C / 100 m, determinar el calor que debería absorber una masa de aire seco en ascenso para que se encontrara a igual temperatura que el aire atmosférico en todos los niveles.

    Solución: $\delta q/dz = 3{,}3$ J kg^{-1}m^{-1}.

32. Una masa de aire seco asciende verticalmente según una ley politrópica de exponente γ_p en una atmósfera de gradiente térmico vertical $\alpha = 1{,}1$°C/ 100 m. Determinar la estabilidad de estratificación de la atmósfera para,

    a) $\gamma_p = 1{,}5$,
    b) $\gamma_p = 1{,}4$.

    Solución: Si $\gamma_p = 1{,}5$, $\Gamma = 0{,}0114$ K/m $> \alpha$, la atmósfera es estable. Si $\gamma_p = 1{,}4$, $\Gamma = 0{,}0098$ K/m $> \alpha$, la atmósfera es inestable.

33. Una masa de aire seco desciende en la atmósfera recibiendo una energía por radiación de 0,08 cal/g cada 100 m. Sabiendo que el gradiente térmico de la atmósfera es igual a $\alpha = 0{,}9°\text{C}/\ 100$ m, determinar el grado de estabilidad de la atmósfera, el exponente politrópico y el calor específico politrópico. Suponer que $T/T' \approx 1$.

    Solución: Atmósfera inestable, $c = -558$ J kg^{-1}K^{-1}, $\gamma_p = 1{,}22$.

34. Una burbuja de aire seco evoluciona desde el nivel de referencia, en el que la temperatura atmosférica es $T_0' = 20°\text{C}$ y la temperatura inicial de la burbuja $T_0 = 25°\text{C}$, hasta su altura de equilibrio. La masa de la burbuja es $m = 20$ kg y durante la elevación la burbuja absorbe a ritmo constante 1 kcal cada 100 m. Si el gradiente geométrico $\alpha = 0{,}007$ K/m calcúlese el valor de la altura de equilibrio y el calor específico del proceso descrito.

    Solución: $H_{eq} = 6240$ m, $c = -273$ J kg^{-1}m^{-1}.

35. Una masa de aire seco más caliente que el ambiente sube espontánea y politrópicamente con un calor específico $c = -0{,}03$ cal/(g K). Sabiendo que la atmósfera tiene un gradiente térmico vertical $\alpha = 0{,}7°\text{C}/\ 100$ m y que la burbuja estaba en su nivel inicial con una temperatura de 25°C donde el ambiente tenía una temperatura de 20°C, calcular la altura salvada por la burbuja hasta llegar a su nivel de equilibrio.

    Solución: $h_e = 2750$ m.

36. Una masa de aire seco que asciende según una ley politrópica de calor específico $c = -0{,}06$ cal/(g K) evoluciona en una atmósfera de gradiente térmico vertical $\alpha = 0{,}6°\text{C}/\ 100$ m. Suponiendo que parte a la misma temperatura que el ambiente (20°C), determinar la diferencia de temperatura entre la masa de aire y el ambiente al ascender 2 km.

    Solución: $T - T' = -3{,}6$ K.

37. Una masa de aire seco con una temperatura de 25°C comienza un ascenso cuando la temperatura del ambiente es de 20°C según una ley politrópica de gradiente $\Gamma_p = 1{,}2°\text{C}/$ 100 m. Sabiendo que su nivel de equilibrio está a 1500 m por encima del nivel inicial, calcular el gradiente térmico vertical de la atmósfera.

    Solución: $\alpha = 0{,}0053$ K/m.

38. Sean dos masas de aire seco con una temperatura de 25°C que están rodeadas por aire a 23°C. Supongamos que una asciende de forma adiabática hasta su altura de equilibrio y la otra de forma politrópica llegando a una altura 100 m por encima de la primera. Si $\alpha = 0{,}0065°\text{C}$ y la presión es $P = 1013$ hPa calcule:

    a) El calor específico asociado al proceso politrópico.

    b) La presión en los dos niveles de equilibrio.

    Solución: (a) $c = -46{,}9$ J kg^{-1}m^{-1}; (b) $P_{ad} = 945$ hPa, $P_p = 934$ hPa.

39. Una masa de aire seco situada en el nivel 900 hPa tiene una temperatura de $-3°\text{C}$. Suponiendo que evoluciona politrópicamente hasta los 700 hPa con una calor específico $c = -0{,}03$ cal/(g K), determinar su densidad en el nivel superior.

    Solución: $\rho = 0{,}89$ kg m^{-3}.

40. Una masa de aire en superficie se calienta hasta alcanzar una temperatura de 35°C, mientras la temperatura de su entorno se mantiene a 25°C. Dicha masa asciende politrópicamente desde el nivel inicial (calentándose por radiación) hasta alcanzar el equilibrio en un estrato, 2000 m por encima. ¿Cuál será el índice de politropía si la temperatura de la atmósfera era, al paso por los 1000 m, de 15°C?

    Solución: $\gamma_p = 1{,}74$.

41. Una masa de aire tiene una presión de 1013 mb, una temperatura de 285 K y una proporción de mezcla de 3 g $\cdot$ kg^{-1}. Calcular: (a) la humedad relativa; (b) la densidad de la masa de aire.

    Dato: E(12°C)=14,01 mb.

    Solución: (a) $h = 35\,\%$; (b) $\rho = 1{,}24$ kg/m^3.

42. Suponiendo una masa de aire saturada con una presión de 1000 mb y una temperatura de 14°C, y sabiendo además que la proporción de mezcla vale M=10,10 g/kg, determinar la tensión de saturación que corresponde a esta proporción de mezcla saturante a las siguientes presiones: (a) 1000 mb; (b) 850 mb; (c) 700 mb; (d) 500 mb; (e) 300 mb.

    Solución: (a) $E = 16{,}0$ hPa; (b) $E = 13{,}6$ hPa; (c) $E = 11{,}2$ hPa; (d) $E = 8{,}0$ hPa; (e) $E = 4{,}8$ hPa.

43. Calcular las constantes $\overline{r}$ y $\overline{c_p}$ de una masa de aire húmedo, sabiendo que la tensión de vapor es de 10 mb y la presión de 1005 mb. Determinar también el gradiente adiabático, $\overline{\Gamma}$ de esta masa de aire.

    Solución: $\overline{r} = 0{,}288$ J g^{-1}K^{-1}; $\overline{c_p} = 1009{,}9$ J kg^{-1}K^{-1}; $\overline{\Gamma} = 9{,}7$ K/km.

44. Sabiendo que la presión es de 985 mb, que la temperatura es de 20°C y que la tensión de vapor tiene un valor de 18,2 mb, calcular la densidad del aire en los siguientes casos: (a) suponiéndolo totalmente seco, (b) en las condiciones reales de humedad.

    Solución: (a) $\rho = 1{,}17$ kg/m^3; (b) $\rho = 1{,}16$ kg/m^3.

45. Una masa de aire húmedo a 850 mb de presión tiene una temperatura de 2°C y 4 g·/kg de humedad específica. Calcular: (a) tensión de vapor, (b) humedad relativa; (c) humedad absoluta y humedad absoluta saturante, (d)temperatura virtual.

    Dato: E(2°C)=7,05 mb.

    Solución: (a) $e = 2{,}11$ mb; (b) $h = 30\,\%$; (c) $a = 0{,}0017$ kg/m^3, $A = 0{,}0056$ kg/m^3; (d) $T_v = 275{,}7$ K.

46. Calcular la constante $\overline{r}$ y el calor específico de una masa de aire húmedo, $\overline{c_p}$, sabiendo que su temperatura es de 22°C, su humedad relativa del 70 % y su presión de 1010 mb. Determinar también la temperatura virtual y la humedad absoluta.

    Dato: E(22°C)=26,44 mb.

    Solución: $\overline{r} = 288{,}98$ J kg^{-1}K^{-1}, $\overline{c_p} = 1014{,}2$ J kg^{-1}K^{-1}, $T_v = 297$ K, $a = 0{,}0136$ kg/m^3.

47. Una masa de aire húmedo tiene una humedad relativa del 90 %, una presión de 1015 mb y una temperatura de 20°C. Calcular el gradiente adiabático de esta masa de aire.

    Dato: E(20°C)=23,48 mb.

    Solución: $\overline{\Gamma} = 9{,}65$ K/km.

48. Sabiendo que la temperatura es de 6°C y que la humedad relativa es del 50 %, determinar:

    (a) La humedad absoluta y la humedad absoluta saturante.

    (b) La proporción de mezcla y la humedad específica.

   Datos: $P = 1010$ mb, E(6°C)=9,35 mb.

    Solución: (a) $a = 3{,}6$ g/m^3, $A = 7{,}3$ g/m^3; (b) $q \approx m = 2{,}9$ g/kg.

49. Se tienen las siguientes observaciones en superficie: presión=1013 mb, temperatura=15°C y proporción de mezcla=$5{,}11 \cdot 10^{-3}$. Calcular a partir de estos datos: (a) la humedad específica; (b) la humedad relativa; (c) la humedad absoluta.

    Dato: E(15°C)=17,04 mb.

    Solución: (a) $q = 5{,}08$ g/kg; (b) $h = 49\,\%$; (c) $a = 6{,}3$ g/m^3.

50. Una masa de aire tiene una temperatura de 12°C, una presión de 1020 mb y una humedad relativa de 75 %. Si E(12°C)=14,01 mb, calcular: (a) la proporción de mezcla; (b) la humedad específica; (c) la humedad absoluta.

    Solución: (a) $m = 6{,}5$ g/kg; (b) $q = 6{,}4$ g/kg; (c) $a = 8$ g/m^3.

51. Sabiendo que una masa de aire húmedo tiene una humedad absoluta de 8 g·m^{-3}, una temperatura de 15 °C y una presión de 1005 mb, calcular: (a) la humedad relativa; (b) la humedad específica;(c) la temperatura virtual.

    Dato: E(15°C)=17,04 mb.

    Solución: (a) $h = 62\,\%$; (b) $q = 6{,}6$ g/kg; (c) $T_v = 289{,}2$ K.

52. Calcular la humedad absoluta de una masa de aire húmedo sabiendo que la temperatura virtual es de 30°C, la temperatura efectiva es de 28°C y la presión es de 1013 mb.

    Solución: $a = 13$ g/m^3.

53. Calcular la densidad del vapor de agua de una muestra de aire húmedo a presión atmosférica, sabiendo que la temperatura del aire húmedo es $T = 4$°C y la humedad relativa del 40 %. Dato: E(4°C)=8,1 mb.

    Solución: $a = 2{,}5$ g/m^3.

54. En el nivel de presión $P = 1024$ hPa, la temperatura atmosférica es de 21°C. En ese punto, calentamos una masa de aire hasta una temperatura $T = 25$°C y se la deja evolucionar politrópicamente (con $c = -0{,}01$ cal/(g °C)) hasta alcanzar de nuevo el equilibrio en el nivel de presión $P = 927$ hPa, 2700 m por encima del nivel inicial. Si el gradiente geométrico (α) es 0,0075°C/m, calculad la humedad específica del aire, supuesta constante entre los

dos niveles, el calor específico de la mezcla y la presión parcial de vapor de agua para los dos niveles.

Solución: $q = 0{,}071$, $\bar{c}_p = 1064$ J/kg K, $e_0 = 111{,}5$ hPa, $e_1 = 100{,}9$ hPa.

55. Determinar la temperatura virtual del aire a 3000 m de altura sobre la superficie del mar, sabiendo que al nivel del mar $T_v = 10°$C y el gradiente vertical de temperatura $\alpha = 0{,}6°$C/100 m. Considere que a 3000 m la presión es de 700 mb y que la tensión de vapor en este nivel es 1,12 mb menor a la tensión de saturación.

    Solución: $T_v = -7{,}7°$C.

56. Para una atmósfera que contiene un 2 % (en volumen) de vapor de agua, calcúlese el valor de $\overline{\gamma}$ y de $\overline{\Gamma}$.

    Solución: $\overline{\gamma} = 1{,}398$, $\overline{\Gamma} = 9{,}65$ K/km.

57. ¿Cómo influye la humedad en la estabilidad de la estratificación?. Razona cuál de los siguientes estados de la atmósfera a una altura dada $z = 0$ sería más estable:

    (Un estado atmóferico se dice **más estable** que otro cuando la oposición que ofrece a desplazamientos verticales de masas de aire es mayor que la de ese otro. Hágase la hipótesis de linealidad del gradiente vertical de temperatura. Datos: $c_p(\text{va})/c_p(\text{as}) = 1{,}85$.)

    (a) Se tiene que en el nivel de referencia $T(0) = 23°$C, a una altura $z = 100$ m, $T(100) = 22{,}2°$C; la humedad específica es $q = 0{,}3$.
    (b) Se tiene que en el nivel de referencia $T(0) = 33°$C, a una altura $z = 100$ m, $T(100) = 32{,}2°$C; la humedad específica es $q = 0{,}1$.
    (c) Se tiene que en el nivel de referencia $T(0) = 23°$C, a una altura $z = 100$ m, $T(100) = 22{,}2°$C; la humedad específica es $q = 0{,}01$.

    Solución: (b), (c) más estables que (a).

58. Una masa de aire húmedo está localizada en el suelo y tiene una temperatura de 20° C. En un ascenso adiabático alcanza la saturación en el nivel de 800 mb. Determinar el punto de rocío si la presión en el suelo es de 1000 mb.

    Solución: $T_r = 5{,}0°$C.

59. Calcular el coeficiente de enfriamiento adiabático del aire húmedo si la presión es de 900 mb, la humedad relativa es $h = 80\,\%$ y $T = 300$ K.

    Dato: E(300 K)=26,6 mmHg.

    Solución: $\bar{\Gamma} = 9{,}60$ K/km.

60. Calcular la variación de tensión saturante del vapor de agua cuando su temperatura pasa de 273 K a 265 K.

    Solución: Usando la fórmula de Magnus: $E_0 = 1{,}14 E_1$.

61. Un masa de aire húmedo se encuentra en el suelo con una temperatura de 15°C, una humedad relativa del 80 % y una presión de 1000 hPa. Si esta masa de aire asciende adiabáticamente hasta una presión de 980 hPa, determinar para ese nivel: (a) temperatura, (b) humedad específica, (c) tensión máxima de vapor, (d) temperatura del punto de rocío. Nota: es necesario emplear la fórmula de Magnus o una tabla donde aparezcan las tensiones saturantes en función de la temperatura.

    Solución: (a) $T_1 = 286{,}3$ K; (b) $q = 8{,}5$ g/kg; (c) $E(T_1) = 15{,}4$ hPa; (d) $T_r = 11{,}3$°C.

62. Determinar el nivel de condensación de una masa de aire sabiendo que la temperatura en el suelo es de 22°C y su punto de rocío es de 15°C. Utilizar la fórmula de Magnus si fuera necesario.

    Solución: $z_{sat} = 878$ m.

63. Un masa de aire húmedo tiene una tensión de vapor de 17,94 hPa y una temperatura de 20°C. Sabiendo que la tensión saturante a 20°C es de 23,38 hPa, determinar la humedad relativa y el punto de rocío.

    Solución: $h = 77\,\%$, $T_r = 15{,}7$°C.

64. Supongamos que la masa de aire húmedo del problema anterior sufre un incremento de temperatura de 5°C en un proceso isobárico. Determinar la variación absoluta que experimenta la humedad relativa de la masa de aire.

    Solución: $\Delta h = 20{,}5\,\%$.

65. Calcular el cambio que experimenta la tensión de saturación del vapor de agua si la temperatura experimenta un aumento de 8°C, pasando de 5°C a 13°C.

    Dato: E(5°C)=8,73 hPa.

    Solución: $\Delta E = 6{,}3$ hPa.

66. Una nube saturada de vapor experimenta un incremento de temperatura de 4°C a 10°C. En el proceso, parte de las gotas que forman la nube se evaporan para mantener el ambiente saturado. Determinar el nuevo valor de la tensión de vapor, sabiendo que E(4°C)=8,14 hPa.

    Solución: $\Delta E = 4{,}19$ hPa.

67. Determinar el vapor de agua que se condensará si enfriamos una masa de aire saturado desde 10°C a 8°C manteniendo la presión constante, $P_0 = 1013$ hPa.

    Datos: E(10°C)=12,26 hPa, E(8°C)=10,71 hPa.

    Solución: $\Delta m = 0{,}95$ g/kg.

68. Calcular el calor latente de condensación del agua a 30°C, sabiendo que E(30°C)=42 hPa y que $dE/dT \approx 2{,}4$ hPa/K. Compruébese el resultado con otra ecuación más aproximada.

    Solución: Usando Clausius-Clapeyron $L = 2418{,}5$ J/g, con fórmula aproximada para $L(T)$, $L = 2441{,}0$ J/g.

69. Dado un estrato de aire bien mezclado, calcular:

    (a) La temperatura de saturación.

    (b) El gradiente adiabático en la base del estrato.

    (c) El punto de rocío en la base del estrato.

    (d) Altura (sobre la base) del nivel de condensación.

    (e) El nivel de condensación por la fórmula de Ferrel y por la de Väissälä.

    Datos: $h_0 = 60\,\%$, $T_0 = 280\text{K}$ y $P_0 = 900$ hPa.

    Solución: (a) $T_s = 271{,}1$ K; (b) $\bar{\Gamma} = 9{,}73$ K/km; (c) $T_d = -0{,}2°\text{C}$; (d) $H = 915$ m; (e) $H_{Fer} = 875$ m, $H_{Vai} = 878$ m.

70. La oscilación térmica de un día es de 10°C, mientras que la tensión de vapor sufre un cambio de 3 hPa durante dicho día. Sabiendo que la temperatura media es de 15°C y que la tensión media es de 10 hPa, determinar la variación diurna de la humedad relativa teniendo en cuenta exclusivamente la influencia de la temperatura en primer lugar, y después sólo teniendo en cuenta la influencia de la variación de la tensión de vapor. Indicar, según los resultados, qué parámetro es más importante en la predicción de la niebla.

    Solución: $(\Delta h/h)_T = 7\,\%$; $(\Delta h/h)_e = 30\,\%$.

71. Una masa de aire húmedo tiene una temperatura $T = 20°\text{C}$, una presión $P = 1012$ mb y una humedad relativa del 70 % y se supone que asciende adiabáticamente. Determinar en el nivel inicial y en el de condensación: la tensión de vapor, el punto de rocío y la proporción de mezcla.

    Dato E(20°C)=23,38 hPa.

    Solución: $e_0 = 16{,}4$ hPa, $T_{d0} = 14{,}3°\text{C}$, $m_0 = 10{,}06$ g/kg; $e_s = 15{,}1$ hPa, $T_{ds} = 13{,}1°\text{C}$, $m_s = 10{,}06$ g/kg.

72. Una masa de aire húmedo asciende por vía adiabática desde el suelo ($P = 1000$ hPa) hasta los 700 hPa donde se alcanza la saturación. Sabiendo que la temperatura del suelo es de 288 K, determinar la tensión de vapor en el nivel inicial y el punto de rocío en tierra.

    Dato E(15°C)=17,04 hPa.

    Solución: $e = 3{,}6$ hPa, $T_d = -7{,}0°\text{C}$.

73. Calcular la tensión de vapor de una masa de aire sabiendo que asciende adiabáticamente desde el nivel de presión 1010 mb hasta el de 800 mb, donde se alcanza el nivel de condensación, siendo la tmeperatura inicial del aire $T_0 = 285$ K..

    Dato: E(285K)=14,01 hPa.

    Solución: $e_0 = 5{,}0$ hPa.

74. Determinar el nivel de condensación por ascenso adiabático de una masa de aire sabiendo que en el nivel inicial $T = 20°\text{C}$ y $h = 70\,\%$.

    Solución: $H_{sat} = 703$ m.

75. Calcular el punto de rocío y la humedad relativa inicial, sabiendo que el nivel de condensación por ascenso adiabático de una masa de aire, que inicialmente está a 12°C, se encuentra a 1800 m.

    Dato: $E(12°C) = 14{,}1$ hPa.

    Solución: $h_0 = 37\,\%$; $T_d = -2{,}1°C$.

76. Una masa de aire con una temperatura de 10°C y una presión $P = 990$ hPa tiene una humedad relativa $h = 80\,\%$. Determinar la altura y presión del nivel de condensación si la masa de aire sufre un ascenso adiabático.

    Solución: $H_{sat} = 408$ m; $p_{sat} = 941{,}9$ hPa.

77. Una masa de aire saturado (sin contenido de agua líquida) en la cima de una montaña está a una presión $P = 750$ hPa y una temperatura $T = 268$K. Suponiendo que se fuerza un descenso adiabático hasta la base de la montaña, donde $P = 950$ hPa, determinar la temperatura y humedad relativa finales del proceso.

    Solución: $T = 287$ K; $h = 35{,}4\,\%$.

78. Una masa de aire se encuentra en la falda de una montaña con una temperatura de 20°C y una humedad relativa h=90 %, mientras que el aire circundante tiene una temperatura de 15°C. Se observa que el aire empieza a ascender y da lugar a la formación de nubes 100 m antes de llegar a la cima de la montaña. En la cima de la montaña existe una estación meteorológica que mide una humedad específica q=0,001. La masa de aire desciende por la ladera opuesta de la montaña llegando al suelo con una temperatura 0,5°C superior a la original. Si $\alpha = 0{,}0065°C/m$ y la presión en la falda de la montaña es $P = 1013$ hPa, calcule:

    (a) Altura de la montaña.
    (b) Humedad específica y relativa de la masa de aire en el punto final.
    (c) Temperatura de la masa de aire en la cumbre.
    (d) Mínimo valor de α para que pueden formarse las nubes.

    Datos: $E(20°C) = 23{,}48$ hPa, emplee si fuera necesario $ln(T/T_0) \approx (T - T_0)/T_0$.

    Solución: (a) $H = 310$ m; (b) $q_f = 0{,}001$, $h_f = 6{,}7\,\%$; (c) $T_c = 290{,}4$ K; (d) $\alpha_m = -0{,}0063°C/m$.

79. Determinar el gradiente pseudoadiabático para los siguientes valores:

    (a) $P_1 = 980$ hPa, $T_1 = 285$K, $E_1 = 14{,}01$ hPa
    (b) $P_2 = 1012$ hPa, $T_2 = 293$K, $E_2 = 23{,}38$ hPa
    (c) $P_3 = 500$ hPa, $T_3 = 258$K, $E_3 = 1{,}91$ hPa

    Solución: (a) $\Gamma_{pseud} = 5{,}03$ K/km; (b) $\Gamma_{pseud} = 4{,}30$ K/km; (c) $\Gamma_{pseud} = 7{,}10$ K/km.

80. Determinar el descenso de temperatura de una masa de aire saturado que se eleva adiabáticamente 500 m, sabiendo que en el nivel inicial la presión es de 850 hPa y $T = 273$ K.

    Solución: $\Delta T \approx 1{,}3$ K.

81. En un proceso de enfriamiento isobárico por radiación en una masa de aire saturado a presión atmosférica (1013 hPa) se produce la condensación de 1,5 g de vapor por m^3 de aire. Sabiendo que la temperatura inicial de la masa de aire $T_i = 285$ K, calcular la temperatura final del proceso.

    Solución: $T_f \approx 281{,}3$ K.

82. Determinar el calor perdido por una masa de aire saturado sabiendo que en dos horas se ha condensado 1 g de vapor por m^3 de aire. El proceso es isobárico siendo $P_0 = 1010$ hPa y $T_0 = 15°$C.

    Dato: E(15°C)=17,04 hPa

    Solución: $Q \approx -3{,}5$ J/g.

83. La temperatura y humedad relativa en el exterior de una casa son 40°C y 40 % respectivamente. En la casa hay instalado un aparato de aire acondicionado que toma aire del exterior, lo enfría y lo introduce en la casa. El proceso de enfriamiento comienza poniendo el aire en contacto con un circuito de refrigeración que lo lleva a una temperatura de 0°C, produciéndose la saturación de la masa de aire y la correspondiente condensación del vapor de agua que estuviera en exceso. Una vez que el aire entra en la casa alcanza una temperatura de 20°C. Teniendo en cuenta que todo el proceso se desarrolla a presión constante e igual a 1013 hPa se pide: (a) Representar gráficamente el proceso, (b) calcular la cantidad de agua por unidad de volumen y por unidad de masa de aire que se condensa en el proceso de enfriamiento, (c) calcular la humedad relativa del aire que entra en la habitación.

    Datos: E(40°C)=74,5 hPa, E(20°C)=23,48 hPa, E(0°C)=6,11 hPa.

    Solución: (b) $\Delta a \approx 16$ g/m^3, $\Delta q \approx 15{,}1$ g/kg; (c) $h_i = 26\,\%$.

84. En una masa de aire saturado a $T = 10°$C y presión $P = 998$ hPa se produce una condensación isobárica por irradiación nocturna. Sabiendo que se han condensado 2 g/m^3 de vapor, determinar el descenso de temperatura necesario para que ocurra este cambio de fase, así como la pérdida de calor que acompaña el proceso.

    Dato: E(10°C)=12,3 hPa.

    Solución: $T_f = 6{,}8°$C, $Q = -7{,}4$ J/g.

85. Una masa saturada asciende por vía pseudoabiabática desde el nivel de 700 mb y $T = 273$K hasta el de 650 mb. Sabiendo que se condensa en el proceso una proporción de mezcla $m = 7{,}3 \times 10^{-4}$, calcular el descenso de temperatura que tiene lugar.

    Dato: E(10°C)=6,11 hPa. Usar Magnus si fuera necesario.

    Solución: $T_f = -2{,}8°$C.

86. Sean dos masas de aire húmedo, teniendo la segunda el doble de masa que la primera. Supongamos que sufren un proceso de mezcla horizontal, siendo sus valores iniciales de temperatura y humedad: $T_1 = 0°$C, $h_1 = 90\,\%$, $E_1 = 6{,}12$ mb, $T_2 = 20°$C, $h_2 = 40\,\%$, $E_2 = 23{,}4$ mb. La presión a la que se desarrolla el proceso es $P_0 = 1000$ mb. Calcúlese:

    (a) Temperatura final de la mezcla.

(b) e_1, e_2 y e final.

(c) ¿Se alcanza la saturación al mezclar las dos masas?

Solución: (a) $T_F = 13{,}3°\mathrm{C}$; (b) $e_1 = 5{,}5$ mb, $e_2 = 9{,}4$ mb, $e_F = 8{,}1$ mb; (c) No se alcanza la saturación.

87. Si se consideran las dos masas de aire húmedo del problema anterior ($T_1 = 0°\mathrm{C}$, $h_1 = 90\,\%$, $T_2 = 20°\mathrm{C}$, $M_2 = 2M_1$), ¿qué humedad relativa es necesario que tenga la masa M_2 para que tras el proceso de mezcla horizontal se alcance la saturación? Supóngase que la presión a la que se desarrolla el proceso es $P_0 = 1000$ mb y que q_1 y q_2 son mucho menores que uno.

Solución: $h_2 \approx 86\,\%$.