



Universidad de Chile
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Departamento de Geofísica

MODULO 2
Flujos Radiativos

René Garreaud S.
Carolina Meruane N.

2005

Índice

1.	Antecedentes teóricos	1
1.1.	Componentes del balance de energía superficial	1
1.2.	Flujos radiativos	3
1.3.	Estimación de los flujos radiativos	3
1.4.	Instrumentos para medir radiación solar e infraroja	7
2.	Guía de trabajo	9
2.1.	Objetivos	9
2.2.	Materiales	10
2.3.	Trabajo práctico	12

1. Antecedentes teóricos

La radiación solar es una de las variables más importantes en meteorología, por ser la fuente de energía utilizada en la gran mayoría de los procesos en nuestro planeta. A través de los mecanismos de difusión y de radiación propia de la tierra y la atmósfera, la radiación solar se transmite en las capas bajas de la atmósfera y al submedio, generándose un balance de flujos de calor que intervienen en el poder evaporante de la atmósfera, en la energía disponible para el derretimiento de nieve y en el desarrollo de la vida en el planeta, siendo fundamental el estudio de este balance en las áreas de agronomía, hidrología y biología, entre otras.

1.1. Componentes del balance de energía superficial

El intercambio de calor entre un cuerpo y su medio, siempre que exista una diferencia de temperatura entre ambos, se presenta en tres formas:

Radiación → transmisión de calor sin contacto de los cuerpos por ondas electromagnéticas o fotones.

Conducción (sólidos y líquidos) → transmisión de calor por un cuerpo sin desplazamiento de sus moléculas.

Convección (líquidos y gases) → movimiento turbulento de un gran número de moléculas.

En el caso de una superficie y la atmósfera, el intercambio de calor puede asociarse también al flujo neto de agua y cambio de fase de ésta. Por ejemplo, la evaporación enfría la superficie por absorción de calor latente y también genera un flujo turbulento de un gran número de moléculas.

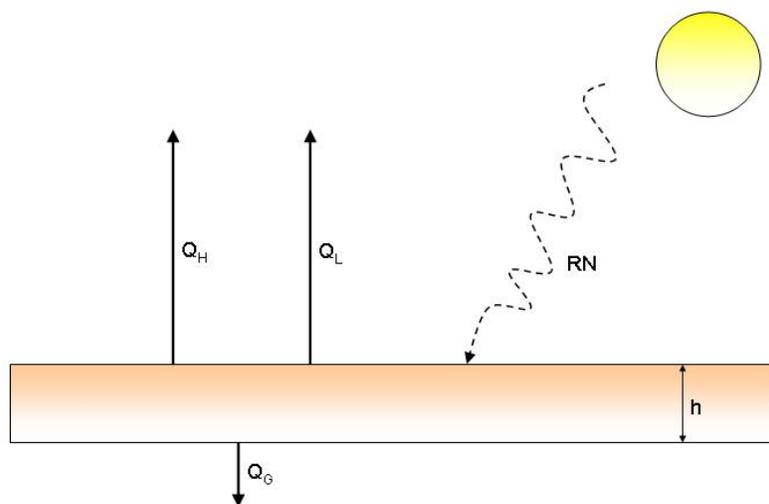


Figura 1: Balance de energía superficial.

MODULO 2: Flujos Radiativos

El esquema simplificado de las distintas componentes que intervienen en el balance de calor, para un volumen de suelo, se muestra en la Figura 1. De este modo, si se considera como flujos positivos a los que entregan calor al medio, se tiene:

$$RN - (Q_H + Q_L + Q_G) = S = \rho c_p h \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

donde:

- RN : radiación neta sobre la superficie.
- Q_H : flujo de calor sensible desde la superficie.
- Q_L : flujo de calor latente desde la superficie.
- Q_G : flujo de calor molecular dentro de la superficie.
- S : almacenamiento o pérdida de calor.
- h : espesor del suelo.
- ρ : densidad.
- c_p : calor específico del agua a presión constante.
- T : temperatura del suelo.

Luego el des-balance entre flujos de calor de entrada (RN) y flujos de salida ($Q_H + Q_L + Q_G$) produce un cambio en la temperatura promedio del volumen de suelo.

En el balance anterior se ha supuesto que Q_H , Q_L y Q_G extraen calor del suelo. Sin embargo, estos términos pueden ser mayores o menores que cero. Igualmente RN es típicamente la entrada de calor al suelo, pero podría ser la salida ($RN < 0$).

La ecuación anterior puede aplicarse a una capa muy delgada, $h \rightarrow 0$, con lo cual obtenemos la ecuación de balance para una superficie:

$$RN = Q_H + Q_L + Q_G \quad (2)$$

En las siguientes secciones se estudiará en detalle el término asociado a la radiación neta. El estudio de los flujos turbulentos, Q_H , Q_L y Q_G se aborda en el Módulo 3 de estos laboratorios.

1.2. Flujos radiativos

La radiación neta es la suma de la radiación electromagnética sobre todas las longitudes de onda del espectro:

$$RN = \int_0^{\infty} R(\lambda)d\lambda \quad (3)$$

Usualmente se descompone en la suma de la radiación solar y terrestre debido al mínimo traslapo de las distribuciones espectrales de estas dos bandas. La radiación solar se emite en longitudes de onda comprendida en la banda de 0,2 a 3 μm (radiación de onda corta), mientras la radiación terrestre se emite en longitudes de onda comprendida entre 1 y 100 μm (radiación de onda larga), dentro del rango infrarrojo del espectro, con un máximo en 10 μm .

Así, la radiación neta sobre la superficie terrestre se puede descomponer en:

$$RN = (RS \downarrow - RS \uparrow) + (ROL \downarrow - ROL \uparrow) \quad (4)$$

donde:

- $RS \downarrow$: radiación solar incidente sobre la superficie (onda corta).
- $RS \uparrow$: radiación solar reflejada por la superficie.
- $ROL \downarrow$: contraradiación atmosférica (onda larga).
- $ROL \uparrow$: emisión de la superficie.

Los términos de radiación solar representan la suma de las componentes directa y difusa.

1.3. Estimación de los flujos radiativos

Cuando no se dispone de mediciones de los flujos radiativos, es posible recurrir a ecuaciones empíricas para estimarlos en base a otras variables meteorológicas, tales como: temperatura, humedad relativa, fracción de cielo cubierto, albedo superficial, entre otras.

Estimación de la radiación de onda corta

Las radiación solar incidente se puede estimar a partir de la radiación solar en el tope de la atmosfera:

$$RS \downarrow = \begin{cases} ST_K \text{sen}\psi & \text{durante el día (sen}\psi \text{ es positivo)} \\ 0 & \text{durante la noche (sen}\psi \text{ es negativo)} \end{cases} \quad (5)$$

MODULO 2: Flujos Radiativos

donde S es la constante solar (1360 W/m^2), T_k es la transmisividad y ψ es el complemento del ángulo cenital.

La transmisividad se puede calcular a partir de la ecuación de Burridge and Gadd (1974):

$$T_K = (0,6 + 0,2\text{sen}\psi)(1 - 0,4\sigma_{C_H})(1 - 0,7\sigma_{C_M})(1 - 0,4\sigma_{C_L}) \quad (6)$$

donde σ_C representa la fracción de cielo cubierto, y los subíndices H, M y L significan, nubosidad alta, media y baja, respectivamente.

Para determinar $\text{sen}\psi$ se puede ocupar:

$$\text{sen}\psi = \text{sen}\phi\text{sen}\delta_s - \text{cos}\phi\text{cos}\delta_s\text{cos}\left[\frac{180t_{UTC}}{12} - \lambda_e\right] \quad (7)$$

donde ϕ es la latitud (negativa para el hemisferio Sur) y λ_e es la longitud en *grados*. δ_s es la declinación solar (latitud a la cual los rayos solares caen verticalmente a mediodía) y t_{UTC} es el tiempo universal coordinado en horas.

La declinación solar (en *grados*) se determina de:

$$\delta_s = 23,46\text{cos}\left[\frac{360(d - 173)}{365,25}\right] \quad (8)$$

donde d es el día del año (por ejemplo 27 de octubre=300).

Se define el albedo, a , como la fracción de la radiación solar incidente que es reflejada. Varía desde 0,95 sobre la nieve fresca hasta 0,05 para suelos mojados oscuros. Entonces, la radiación solar reflejada por la superficie esta dada por:

$$RS \uparrow = -aRS \downarrow \quad (9)$$

A partir de la radiación solar incidente, $RS \downarrow$, se puede calcular la insolación diaria, definida como:

$$Insolacion = \int_{h_s}^{h_p} RS \downarrow dh \quad (10)$$

donde h_s y h_p son las horas de salida y puesta del sol, respectivamente, que se obtienen a partir de la Ecuación 7 como:

$$h_s = h_p = \text{acos}(-\text{tg}\phi\text{tg}\delta_s) \quad (11)$$

y para h_s en *grados*, la duración del día, t_d , en *horas*, es:

$$t_d = 2\frac{h_s}{15} \quad (12)$$

Una aproximación a la insolación diaria, I (MJ/m^2), esta dada por la siguiente expresión:

$$I \cong 7,2 \cdot 10^{-3} \frac{S_{max} t_d}{\pi} \quad (13)$$

donde, t_d se ingresa en horas y S_{max} (W/m^2) es la máxima radiación solar incidente dada por (Figura 2):

$$S_{max} = S(h = 0) = S(0,8)(1 - 0,4\sigma_{C_H})(1 - 0,7\sigma_{C_M})(1 - 0,4\sigma_{C_L})(\text{sen}\phi\text{sen}\delta_s + \text{cos}\phi\text{cos}\delta_s) \quad (14)$$

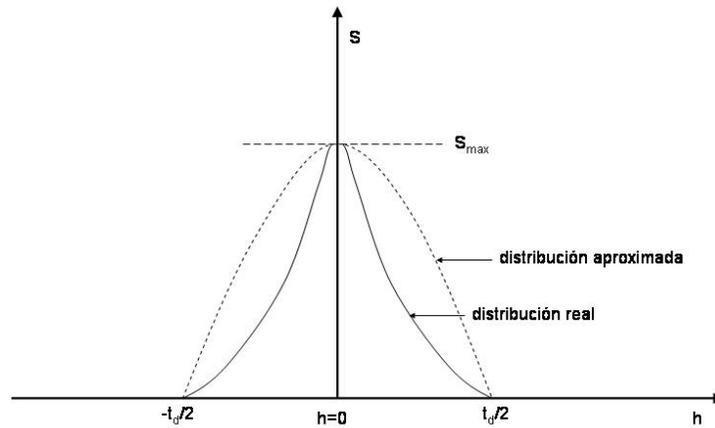


Figura 2: Aproximación para calcular la insolación diaria.

Estimación de la radiación de onda larga

La radiación de onda larga, a diferencia de la radiación solar, no varía mucho con el tiempo para condiciones de un cielo despejado. Luego la radiación neta de onda larga ($ROL^* = ROL \downarrow - ROL \uparrow$), es aproximadamente constante en el tiempo y negativa por que se pierde radiación desde la superficie de la tierra hacia la atmósfera.

Cuando las nubes están presentes, la emisión de la superficie es balanceada por la contraradiación desde las nubes y este efecto es más efectivo para nubes bajas que para nubes altas. Luego, el flujo infrarojo neto se suele estimar por medio de la fórmula de Burridge y Gadd (1974):

$$ROL^* = (-96,4Wm^{-2})(1 - 0,1\sigma_{C_H} - 0,3\sigma_{C_M} - 0,6\sigma_{C_L}) \quad (15)$$

Una alternativa para parametrizar la radiación neta de onda larga, es calcular los términos $ROL \uparrow$ y $ROL \downarrow$ por separado. La ley de Stefan-Boltzmann nos da:

$$ROL \uparrow = \epsilon_{IR} \sigma_{SB} T_0^4 \quad (16)$$

donde $\sigma_{SB} = 5,67 \cdot 10^{-8} W m^{-2} K^4$ es la constante de Stefan-Boltzmann. ϵ_{IR} es la emisividad infrarroja, que esta en el rango de 0,9 a 0,99 para distintas superficies y T_0 es la temperatura del suelo.

La contrarradiación, $ROL \downarrow$, se puede determinar a partir de la formula de Swinbank's (1963) para condiciones de cielo despejado:

$$ROL \downarrow = 0,94 \cdot 10^{-5} \sigma_{SB} T_a^6 \quad (17)$$

donde T_a es la temperatura del aire. Si se asume que $T_0 = T_a$, se tiene la siguiente expresión para la radiación neta de onda larga:

$$ROL^* = \sigma_{SB} T_a^4 (0,94 \cdot 10^{-5} T_a^2 - 1) \quad (18)$$

Una corrección para cielo cubierto esta dada por la relación de Paltridge y Platt (1976):

$$ROL^* = \sigma_{SB} T_a^4 (0,94 \cdot 10^{-5} T_a^2 - 1) - 0,3 \epsilon_{IR} \sigma_{SB} T_a^4 C \quad (19)$$

donde C es la fracción de cielo cubierto.

Una estimación que considera el efecto de la humedad ambiente, a través de la presión parcial de vapor, e_a , es la propuesta por Idso(1981):

$$ROL \downarrow = [0,7 + 5,95 \cdot 10^{-5} e_a \exp(1500/T_a)] \sigma_{SB} T_a^4 \quad (20)$$

La presión parcial de vapor, e_a , se obtiene de la definición de humedad relativa:

$$HR \cong \frac{e_a}{e_{as}} \quad (21)$$

donde e_{as} , corresponde a la presión parcial de vapor cuando el aire esta saturado y depende sólo de la temperatura, de acuerdo a la relación de Clausius-Clapeyron (Figura 3):

$$e_{as} = 6,11 \exp\left(\frac{17,27T}{T + 237,3}\right) \quad (22)$$

en esta ecuación la temperatura, T , es en $^{\circ}C$, y la presión e_{as} se obtiene en *milibares*.

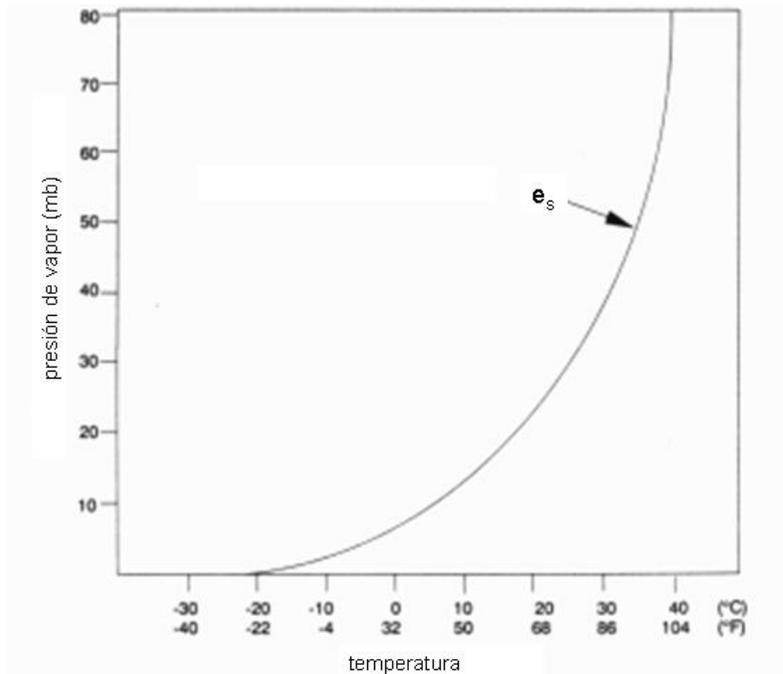


Figura 3: Curva de Clausius-Clapeyron.

1.4. Instrumentos para medir radiación solar e infraroja

Los instrumentos para medir radiación pueden ser clasificados de acuerdo a su uso. El término genérico para todos éstos es el de Radiómetro.

Piranómetro:

Instrumento que mide la radiación solar (radiación solar directa más difusa) recibida desde todo el hemisferio celeste sobre una superficie horizontal terrestre. La radiación solar reflejada también puede ser medida mediante un piranómetro invertido, con lo cual es posible determinar el albedo del lugar.



Figura 4: Piranómetro.

Unas placas pintadas de blanco y de negro actúan como sensores (Figura 4). Las placas negras se calientan más que las blancas, debido a que absorben más radiación. Mediante

termocuplas se mide la diferencia de temperatura entre las placas blancas y negras, la cual es función de la radiación solar global. Para evitar el enfriamiento producido por el viento y el efecto de la contaminación atmosférica sobre los sensores, éstos se aíslan mediante una cúpula de vidrio. Para medir la radiación difusa, se instala un sistema que evita la radiación solar directa sobre el sensor (Figura 5).



Figura 5: Piranómetro para medir radiación solar difusa.

Pirheliómetro

Este instrumento mide la energía que proviene directamente del sol, evitando la radiación difusa desde otras direcciones, siendo necesario que esté constantemente orientado al disco solar. Como sensor se utiliza una placa negra, cuya temperatura, que se mide con un sistema de termocuplas, varía con la radiación solar directa que llega a la placa.

Pirorradiómetro o radiómetro neto:

Diseñado para medir la radiación global. También se puede utilizar para medir el balance neto radiativo de una superficie horizontal, a través de la combinación de dos pirorradiómetros en un solo equipo de medición, con uno expuesto hacia arriba y el otro hacia la superficie (Radiómetro Neto). Los sensores son similares a los otros equipos de radiometría. Los sensores se protegen mediante cúpulas de silicona. Para evitar la condensación interior, se inflan con aire con bajo contenido de vapor de agua (Figura 6).



Figura 6: Radiómetro neto.

2. Guía de trabajo

2.1. Objetivos

El objetivo de esta experiencia es medir los flujos radiativos, conocer sus magnitudes y distribuciones diarias y comparar las mediciones con las estimaciones. Para ésto se trabajará con datos de temperatura, humedad relativa, radiación neta, radiación de onda corta y radiación de onda larga, medidos en la estación EFR durante esta experiencia y algunos días previos a ésta.

El resumen de las ecuaciones empíricas que se utilizará para comparar con los registros se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1: Ecuaciones para estimar la radiación de onda corta y larga.

Ecuación	Variables
Burridge y Gadd (1974): $RS \downarrow = S(0,6 + 0,2sen\psi)(1 - 0,4\sigma_{CH})(1 - 0,7\sigma_{CM})(1 - 0,4\sigma_{CL})sen\psi$	$sen\psi$, σ_{CH} , σ_{CM} y σ_{CL}
Burridge y Gadd (1974): $RS \uparrow = -aRS \downarrow$	a
Burridge y Gadd (1974): $ROL^* = (-96,4Wm^{-2})(1 - 0,1\sigma_{CH} - 0,3\sigma_{CM} - 0,6\sigma_{CL})$	σ_{CH} , σ_{CM} y σ_{CL}
Paltridge y Platt (1976): $ROL^* = \sigma_{SB}T_a^4(0,94 \cdot 10^{-5}T_a^2 - 1) - 0,3\epsilon_{IR}\sigma_{SB}T_a^4C$	ϵ_{IR} , T_0 , T_a y C
Stefan-Boltzmann: $ROL \uparrow = \epsilon_{IR}\sigma_{SB}T_0^4$	ϵ_{IR} y T_0
Swinbank's (1963): $ROL \downarrow = 0,94 \cdot 10^{-5}\sigma_{SB}T_a^6$	T_a
Idso (1981): $ROL \downarrow = [0,7 + 5,95 \cdot 10^{-5}e_aexp(1500/T_a)]\sigma_{SB}T_a^4$	e_a y T_a

σ_{CH} = fracción nubosidad alta

σ_{CM} = fracción nubosidad media

σ_{CL} = fracción nubosidad baja

ψ = complemento del ángulo cenital

e_a = presión de vapor (hPa)

$\sigma_{SB} = 5,67 \cdot 10^{-8} (Wm^{-2}K^4)$

ϵ_{IR} = emisividad superficial (Tabla 2)

a = albedo superficial (Tabla 2)

T_0 = temperatura del suelo (K)

T_a = temperatura del aire (K)

C = fracción de cielo cubierto

S = constante solar ($1360 W/m^2$)

Tabla 2: Albedo superficial y emisividad superficial para distintas superficies.

Tipo de suelo	Albedo (a)	Emisividad (ϵ_{IR})
Tierra/cemento	0,05-0,40	0,90-0,98
Desierto	0,20-0,45	0,84-0,91
Césped	0,16-0,26	0,90-0,95
Suelo agrícola	0,15-0,25	0,90-0,99
Bosque	0,15-0,20	0,97-0,98
Agua	0,03-0,10	0,92-0,97
Nieve	0,40-0,95	0,82-0,99
Hielo	0,20-0,45	0,92-0,97

2.2. Materiales

En esta experiencia se utilizará la estación meteorológica automática de flujos radiativos del laboratorio de meteorología del DGF (EFR, Figura 7).

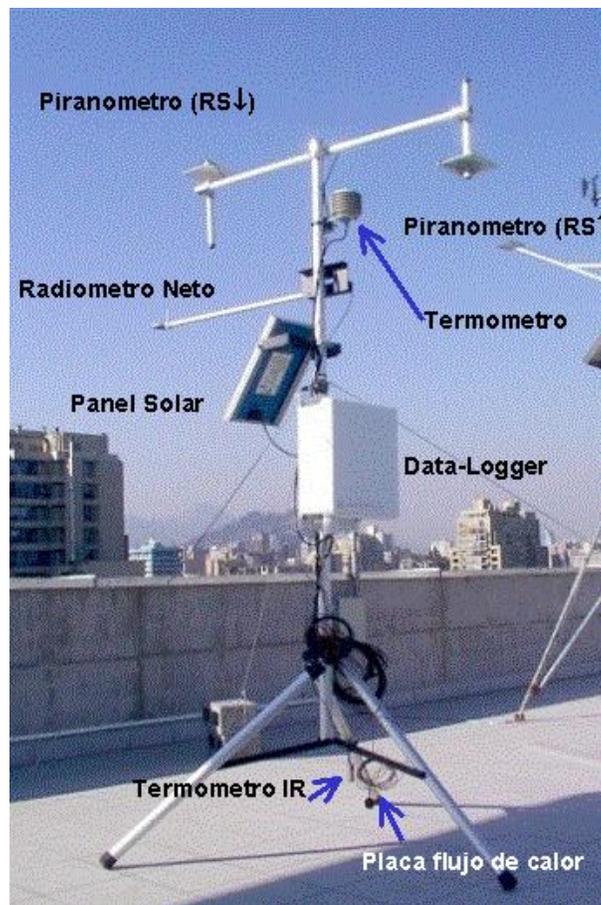


Figura 7: Estación flujos radiativos (EFR).

MODULO 2: Flujos Radiativos

Esta estación muestrea cada 30 segundos y los datos son almacenados como promedios cada 5 minutos. El almacenamiento y procesamiento inicial de los datos es a través de un Data-logger CR10X-2M, Campbell Sci. La alimentación eléctrica es a través de un panel solar. En la Tabla 3 se presentan los detalles de la instrumentación utilizada.

Tabla 3: Instrumentación estación de flujos radiativos (EFR).

Variable	Instrumento	Modelo/Marca
Radiación solar ($RS \downarrow$ y $RS \uparrow$) [W/m^2]	2 Piranómetros	SP-Lite/Kipp & Zonnen
Temperatura (T_a) [$^{\circ}C$]	Termocupla de estado sólido	TC-107/Campbell Sci.
Temperatura a distancia (T_0) [$^{\circ}C$]	Termómetro IR	IRTS-P/Campbell Sci.
Radiación neta (RN) [W/m^2]	Radiómetro neto	NR-Lite/Kipp & Zonnen
Flujo de calor al submedio (G) [W/m^2]	Plato de flujo de calor	HFTP3/REBS

En la Figura 8 se muestra un ejemplo de los datos de salida de la EFR.

1. EFR	2. día	3. hora	4. bat.	5. temp. Int.	6. T_a	7. RS sup.	8. RS inf.	9. RN	10. G	11. To s/c.	12. factor	13. To
120	36	0	12.7	18.96	18.73	0.022	0.105	-85.5	-12.53	21.75	19.12	21.56
120	36	5	12.7	18.91	18.59	0.008	0.124	-85.8	-11.98	21.6	18.92	21.41
120	36	10	12.69	18.84	18.4	-0.006	0.118	-84	-12.35	21.39	18.65	21.19
120	36	15	12.7	18.77	18.13	0.014	0.162	-84.6	-12.83	21.09	18.26	20.89
120	36	20	12.7	18.7	17.74	0.003	0.129	-83.7	-11.37	20.7	17.69	20.48
120	36	25	12.7	18.62	17.39	-0.003	0.127	-83.9	-11.23	20.37	17.11	20.13
120	36	30	12.69	18.52	17.15	0.025	0.168	-85	-11.24	20.18	16.72	19.92
120	36	35	12.69	18.41	17.01	0.019	0.173	-84.8	-11.4	20.12	16.55	19.85
120	36	40	12.69	18.28	16.96	0.022	0.206	-85	-10.76	20.14	16.52	19.87
120	36	45	12.69	18.15	16.96	-0.036	0.182	-85.1	-11.07	20.22	16.59	19.95
120	36	50	12.69	18.02	17	-0.019	0.204	-84	-11.6	20.35	16.73	20.08
120	36	55	12.69	17.89	17.13	-0.028	0.182	-83.9	-12.55	20.54	17.03	20.28
120	36	100	12.69	17.77	17.31	-0.025	0.193	-84.2	-11.55	20.76	17.4	20.52
120	36	105	12.69	17.67	17.28	0.017	0.184	-83.5	-12.45	20.72	17.47	20.48
120	36	110	12.69	17.57	17.19	0.022	0.193	-82.7	-12.33	20.63	17.41	20.4
120	36	115	12.69	17.49	17.17	-0.022	0.176	-83.5	-12.48	20.63	17.44	20.4
120	36	120	12.69	17.41	17.14	0.014	0.151	-83.5	-11.1	20.6	17.46	20.37
120	36	125	12.69	17.34	17.05	0.003	0.129	-82.3	-11.48	20.48	17.36	20.25
120	36	130	12.69	17.27	17	-0.014	0.143	-81.6	-12.04	20.43	17.31	20.2
120	36	135	12.68	17.21	16.85	-0.006	0.132	-81.2	-11.78	20.27	17.13	20.04
120	36	140	12.68	17.14	16.79	0.028	0.116	-83.3	-10.83	20.24	17.05	20.01
120	36	145	12.68	17.08	16.77	0.011	0.113	-82.3	-10.34	20.2	17.04	19.97
120	36	150	12.68	17.01	16.66	0.061	0.135	-81.1	-11.56	20.12	16.92	19.88
120	36	155	12.68	16.95	16.63	0.017	0.149	-80.9	-12.08	20.09	16.9	19.85

Figura 8: Ejemplo de de los datos de salida de la EFR.

Además, durante la experiencia en terreno el alumno debe llevar una calculadora científica.

2.3. Trabajo práctico

Durante los días previos a la experiencia en terreno, la EFR estará ubicada en la terraza del DGF con una buena exposición a la radiación solar. Durante la experiencia práctica la EFR será trasladada a dos lugares de la Facultad, diferenciados por el tipo de suelo, midiéndose las distintas variables por un intervalo de alrededor de 30 minutos. Las actividades que Ud. realizará para este módulo son:

Durante la experiencia

1. Realice la observación de cobertura nubosa, tipo de suelo, hora local y registre uno de los promedios de 5 minutos de las variables medidas por la estación en cada superficie. Para ésto emplee el Display-Kit provisto por el ayudante.
2. Complete la planilla adjunta con los datos observados. Note que ROL^* no es medido, pero puede obtenerse directamente de las otras observaciones como: $ROL^* = RN - (RS \downarrow - RS \uparrow)$.
3. Realice los cálculos necesarios para las estimaciones de $RS \downarrow$, $RS \uparrow$, $ROL \downarrow$, $ROL \uparrow$, ROL^* y RN . Considere las distintas alternativas propuestas en la Tabla 1.
4. Cuantifique las diferencias de $RS \downarrow$, $RS \uparrow$, $ROL \downarrow$, $ROL \uparrow$, ROL^* y RN (valores medidos) al trasladar la estación de un lugar a otro. Comente sobre los factores que pueden explicar estas diferencias.

Después de la experiencia

1. En caso necesario, complete (y verifique) las estimaciones de los flujos radiativos.
2. Compare los flujos medidos y estimados. Comente la exactitud de estos últimos y sus requisitos de información.
3. Obtenga los flujos, temperatura media y humedad relativa media de la EFR para un día previo a la experiencia desde el sitio web del curso (los flujos fueron integrados desde la salida hasta la puesta del sol, empleando los registros cada 5 min).
4. Usando las observaciones anteriores, calcule las estimaciones de los flujos y compárelos con los valores observados. ¿Mejora la exactitud de las estimaciones a nivel de promedio diario? (notar que la radiación solar media se obtiene de la insolación diaria, Ecuación 13, y la radiación de onda larga no varía significativamente durante el día).

Trabajo durante la experiencia

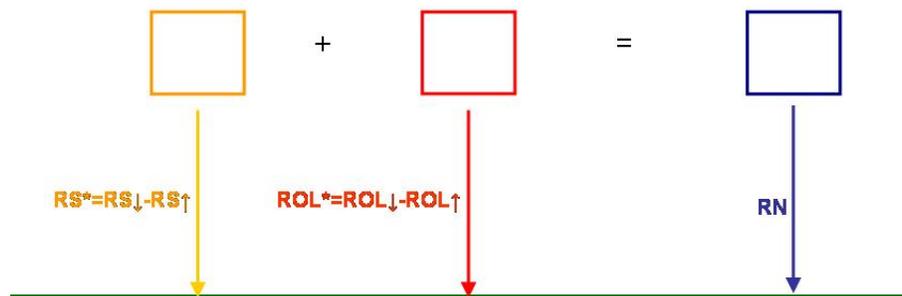
Fecha	:	.....	Latitud (ϕ) [deg]	:	.....
Día del año	:	.....	Longitud (λ_e) [deg]	:	.....
Hora local	:	.....	Declinación solar (δ_s) [deg]	:	.....
Hora UTC (hora local+4)	:	.....	$sen\psi$	:	.....
Tipo de suelo	:	.....	Nubosidad alta (σ_{CH})	:	.....
Albedo superficial (a)	:	.....	Nubosidad media (σ_{CM})	:	.....
Emisividad superficial (ϵ_{IR})	:	.....	Nubosidad baja (σ_{CL})	:	.....
Nubosidad (C)	:	.....	Transmisividad (T_K)	:	.....

Registros estación

Temperatura [$^{\circ}C$] (T_a)	:[$^{\circ}C$]	.....[K]
Temperatura del suelo [$^{\circ}C$] (T_0)	:[$^{\circ}C$]	.....[K]
Humedad relativa [%] (HR)	:	.....
Presión de vapor [hPa] (e_a)	:	.....

Flujos radiativos

	Medido	Estimado		
Radiación solar incidente [W/m^2] ($RS \downarrow$)
Radiación solar reflejada [W/m^2] ($RS \uparrow$)
Albedo estimado (a)
Radiación neta [W/m^2] (RN)
Radiación de onda larga [W/m^2] (ROL^*)



Trabajo después de la experiencia

Fecha :
 Día del año :
 Latitud (ϕ) [deg] :
 Longitud (λ_e) [deg] :
 Declinación solar(δ_s) [deg] :

Tipo de suelo : Nubosidad alta (σ_{CH}) :
 Albedo superficial(a) : Nubosidad media (σ_{CM}):
 Emisividad superficial (ϵ_{IR}): Nubosidad baja (σ_{CL}) :
 Nubosidad (C) : *Transmisividad* (T_K) :

Registros medios diarios

Temperatura [$^{\circ}C$] (T_a) :[$^{\circ}C$][K]
 Temperatura del suelo [$^{\circ}C$] (T_0) :[$^{\circ}C$][K]
 Humedad relativa [%] (HR) :
Presión de vapor [hPa] (e_a) :
 Radiación solar incidente [MJ/m^2] ($RS \downarrow$) :
 Radiación solar reflejada [MJ/m^2] ($RS \uparrow$) :
Albedo estimado (a) :
 Radiación neta [MJ/m^2] (RN) :
Radiación de onda larga [MJ/m^2] (ROL^*) :

Estimaciones

t_d [horas] :
 S_{max} [W/m^2] :
 $RS \downarrow$ [MJ/m^2] :
 $RS \uparrow$ [MJ/m^2] :
 $ROL \downarrow$ [MJ/m^2] :
 $ROL \uparrow$ [MJ/m^2]:
 ROL^* [MJ/m^2] :
 RN [MJ/m^2] :

Bibliografía

Aceituno, P., Garreaud R. López B., & Pichara, V. 2004. “*Sitio web: www.atmosfera.cl”.*

Facultad de Ciencias Físicas y Matemática, Departamento de Geofísica, Universidad de Chile.

Brock, F., & Richardson, S. 2001. “*Meteorological Measurement Systems*”. Oxford University Press.

Oke, T. 1987. “*Boundary Layer Climates*”. Routledge.

Rutllant, J. 2004. “*Apuntes Curso de Introducción a la Meteorología y Oceanografía, GF45A.* ”. Facultad de Ciencias Físicas y Matemática, Departamento de Geofísica, Universidad de Chile.

Stull, R. 1988. “*An Introduction to Boundary Layer Meteorology*”. Kluwer Academic Publishers.