



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

MODULO 1

# Instrumentos Meteorológicos y Humedad Atmosférica

René Garreaud S.  
Carolina Meruane N.

2005

# Índice

1.	Antecedentes teóricos . . . . .	1
1.1.	Temperatura . . . . .	1
1.2.	Presión atmosférica . . . . .	4
1.3.	Viento . . . . .	6
1.4.	Precipitación . . . . .	8
1.5.	Evaporación . . . . .	9
1.6.	Vapor en la atmósfera . . . . .	11
1.7.	Instrumentos para medir humedad atmosférica . . . . .	13
2.	Guía de trabajo . . . . .	15
2.1.	Objetivos . . . . .	15
2.2.	Materiales . . . . .	15
2.3.	Trabajo práctico . . . . .	16

## 1. Antecedentes teóricos

Las moléculas de un gas pueden ser consideradas como partículas que chocan elásticamente entre ellas y con las paredes de un recipiente. Con la posición y la velocidad inicial de cada partícula podemos aplicar las leyes de Newton y deducir la posición y velocidad de cada partícula a cualquier tiempo futuro, luego se podría determinar ciertas propiedades observables (medibles) del sistema, siguiendo una descripción microscópica. Pero debido al gran número de partículas, es más sencillo considerar valores promedios de estas cantidades microscópicas. Si el procedimiento de promediación sobre tales partículas se realiza siguiendo el movimiento de las partículas representativas en un gas, entonces estamos siguiendo la teoría cinética de los gases. Si para la promediación usamos las leyes de las probabilidades aplicadas a distribuciones estadísticas, estaríamos siguiendo la mecánica estadística. En cualquier caso las propiedades termodinámicas (macroscópicas) son expresadas como promedios de propiedades moleculares (microscópicas). De acuerdo a esto ¿se podrá describir un sistema y su interacción con el entorno en términos de un pequeño número de propiedades macroscópicas que sean medibles mediante simples operaciones?, al menos para un gas confinado e idealizado, se puede tener éxito, tales propiedades son la presión, el volumen, la temperatura, la cantidad de materia, la energía interna y la entropía, las cuales se denominan también variables de estado del sistema termodinámico.

Entonces, un concepto esencial de la termodinámica es el de sistema macroscópico, que se define como un conjunto de materia que se puede aislar espacialmente y que coexiste con un entorno infinito e imperturbable. Esto nos permite describir el estado de un sistema macroscópico a través de propiedades medibles como la temperatura, la presión o el volumen. Además es posible identificar y relacionar entre sí muchas otras variables termodinámicas (como la densidad, el calor específico, la compresibilidad o el coeficiente de dilatación), con lo que se obtiene una descripción más completa de un sistema y de su relación con el entorno.

### 1.1. Temperatura

La temperatura es una propiedad física de un sistema, que gobierna la transferencia de energía térmica, o calor, entre ese sistema y otros. Es una medida de la energía cinética de las partículas que componen el sistema.

En el Sistema Internacional de Unidades, la unidad de temperatura es el Kelvin. Sin embargo, está muy generalizado el uso de otras escalas de temperatura, concretamente la escala Celsius (o centígrada), y en Estados Unidos, la escala Fahrenheit. En estas escalas, la unidad es el grado. Una diferencia de temperatura de un Kelvin equivale a una diferencia de un grado centígrado.

La escala Kelvin o absoluta, está fijada por dos valores concretos en los cuales se producen dos efectos bien determinados. El inferior es el llamado cero absoluto y corresponde a aquella temperatura en la que una molécula tiene una energía térmica nula. El valor superior corresponde a la temperatura del punto triple del agua, aquella en la que pueden coexistir los estados sólido, líquido y gaseoso, al que se ha asignado el valor 273,16 °K.

En la escala Celsius de temperatura, el cero de la escala corresponde a la temperatura del

## MODULO 1: Instrumentos Meteorológicos y Humedad Atmosférica

punto de congelamiento del agua, y el 100 a su temperatura de ebullición, ambos a nivel del mar. Así, el punto triple del agua corresponde a  $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$  y el cero absoluto a  $-273,16\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

La correspondencia entre las escalas de temperatura es:

$$T[^{\circ}\text{K}] = T[^{\circ}\text{C}] + 273,16$$

$$T[^{\circ}\text{F}] = T[^{\circ}\text{C}] + 32$$

Las mediciones de temperatura se realizan en un ambiente con buena ventilación y protegido de la radiación solar (de otro modo se estaría midiendo la temperatura del vidrio), para lo cual se utiliza un cobertizo meteorológico, cuyo tamaño varía según el instrumento (Figura 1).



Figura 1: Cobertizo meteorológico.

### Termómetros líquidos (mercurio o alcohol):

Un termómetro de mercurio consta básicamente de un depósito de vidrio que se prolonga en una varilla provista de un tubo capilar vacío, por el que asciende el líquido (mercurio o alcohol) al dilatarse como consecuencia de la absorción de calor. Sobre la varilla se graba una escala graduada. El mercurio permite medir temperaturas superiores a  $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$ , mientras que los termómetros de alcohol pueden medir valores por encima de  $-62\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

El termómetro de máxima, a diferencia del anterior, se instala en forma horizontal. Cuando la temperatura aumenta el mercurio se expande pasando por un punto de estrangulación en la columna cerca de la base del bulbo del termómetro. Cuando la temperatura empieza a descender, la columna de mercurio se corta en ese punto, quedando marcada la posición de máxima expansión. Una vez leída la temperatura máxima, la columna se devuelve a la posición más comprimida mediante agitación mecánica.

En el termómetro de mínima, que se instala en forma horizontal, existe un pequeño

## MODULO 1: Instrumentos Meteorológicos y Humedad Atmosférica

vástago que es arrastrado por el extremo de la columna que se comprime al descender la temperatura (se utiliza alcohol en lugar de mercurio). Si la temperatura aumenta, el vástago permanece estacionario en la posición alcanzada en la temperatura mínima.

### **Lámina bimetálica:**

Este sensor de temperatura está constituido por dos láminas de metales distintos que están pegadas entre sí. Como los coeficientes de expansión térmica de ambos metales no son iguales, las láminas se flectan al cambiar la temperatura. Mediante un sistema de palancas, la deflexión se amplifica y se registra en una banda de papel (Figure 2).



Figura 2: Termógrafo.

### **Termocupla:**

El principio de medición de este instrumento se basa en el hecho que en el punto de contacto de dos metales distintos se produce una diferencia de potencial eléctrico, cuya magnitud depende de la temperatura a la cual se encuentra dicho punto. El cambio de potencial es del orden de 40 microvolts por cada grado de temperatura. Los metales más frecuentemente utilizados en la construcción de termocuplas son el Cobre y el Constantan (Figure 3).



Figura 3: Termocupla.

### **Termómetro de resistencia eléctrica:**

En las décadas más recientes se ha producido un notable desarrollo tecnológico de sensores meteorológicos basados en el uso de circuitos electrónicos. En el caso de la temperatura,

se utiliza la propiedad de algunos metales de modificar su resistencia eléctrica con la temperatura. El metal más utilizado es el platino. También se utilizan termistores, que están basados en semiconductores cuya resistencia varía con la temperatura.

### 1.2. Presión atmosférica

La presión atmosférica es la fuerza por unidad de área ejercida por la atmósfera sobre cualquier superficie en virtud de su peso. Equivale al peso de una columna de aire de sección transversal unitaria que se extiende desde un nivel dado hasta el límite superior de la atmósfera.

La medición de la presión puede expresarse en varias unidades de medidas: Hectopascales, en milibares, pulgadas o milímetros de mercurio (Hg). La unidad estándar en meteorología es el Hectopascal ( $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$  y  $1 \text{ hecto} = 100$ ), ya que las diferencias en presión son del orden de 100 Pa, por lo que es más conveniente utilizar esta unidad, que equivale, además, a un milibar.

Al nivel del mar su valor normal se considera de 760 mm Hg (1.013 mbar), mientras que a una altura de 5.500 m este valor se reduce a la mitad aproximadamente.

#### **Barómetro de mercurio:**

Lo que se mide es la altura de una columna de mercurio cuyo peso es compensado por la presión de la atmósfera. El modelo más frecuente (barómetro Fortin) está formado por un tubo de vidrio de unos 850 mm de altura, cerrado por el extremo superior y abierto por el inferior. Cuando el tubo se llena de mercurio y se coloca el extremo abierto en un recipiente lleno del mismo líquido, a nivel del mar, el nivel del tubo cae hasta una altura de unos 760 mm por encima del nivel del recipiente y deja un vacío casi perfecto en la parte superior del tubo. Las variaciones de la presión atmosférica hacen que el líquido del tubo suba o baje ligeramente. Cuando el nivel de mercurio se lee con una escala graduada denominada nonius y se efectúan las correcciones oportunas según la altitud y la latitud (debido al cambio de la gravedad efectiva), la temperatura (debido a la dilatación o contracción del mercurio) y el diámetro del tubo (por los efectos de capilaridad), la lectura de un barómetro de mercurio puede tener una precisión de hasta 0,1 milímetros.

La correspondencia de las medidas del barómetro de mercurio con otras unidades de presión es:

$$1 \text{ mm de mercurio (a } 0^\circ\text{C)} = 133,322 \text{ hPa}$$

$$1 \text{ hPa} = 1 \text{ milibar (mb)}$$

$$1 \text{ atmósfera estándar} = 1013,25 \text{ hPa}$$

#### **Barómetro aneroide:**

Un barómetro más cómodo (y casi tan preciso) es el llamado barómetro aneroide (Figura 5), en el que la presión atmosférica deforma la pared elástica de un cilindro en el que se ha hecho un vacío parcial, lo que a su vez mueve una aguja que se puede conectar a un



Figura 4: Barómetro de mercurio.

registrador (barógrafo), el cual no sólo mide el valor actual de la presión, sino también su evolución durante el tiempo pasado (Figura 6). A menudo se emplean como altímetros (instrumentos para medir la altitud).



Figura 5: Barómetro aneroid.

### **Barómetro de ebullición:**

Este instrumento se basa en el hecho que la temperatura de ebullición de un cierto líquido depende de la presión atmosférica. El aparato de medición incluye una pequeña cámara que contiene un fluido y un calefactor que lo mantiene en ebullición. La cámara se extiende hacia arriba en forma de una columna en cuyas paredes se produce la condensación, lo cual permite recuperar el fluido hacia la cámara inferior. Mediante un sensor especial se mide la temperatura de ebullición.



Figura 6: Barógrafo.

### 1.3. Viento

El movimiento del aire en la atmósfera es causado por diferencias de presión atmosférica. La mayoría de los movimientos de aire de interés en meteorología tienen velocidades horizontales del orden de  $10 \text{ m/s}$ , mientras las velocidades verticales son del orden de  $1 \text{ cm/s}$  ( $u, v \gg w$ ), por lo que corrientemente al hablar de viento nos referimos siempre a una corriente horizontal o a la componente horizontal de una corriente atmosférica.

Hay tres aspectos del viento que se miden: dirección, rapidez y tipo (ráfagas y rachas). Los cambios superficiales se miden con veletas y anemómetros mientras que los de gran altitud se detectan con globos piloto o radiosondeos.

En las mediciones del viento se especifica su rapidez y su dirección. La dirección se expresa en grados sexagesimales según un código alfabético que indica la dirección geográfica desde donde sopla el viento (N: Norte; E: Este; S: Sur; W: Oeste, y las direcciones intermedias, como NE o SSW). También se utiliza un código numérico que indica el ángulo desde donde sopla el viento, con respecto al Norte, de acuerdo a la siguiente convención:  $0^\circ = \text{Norte}$ ;  $90^\circ = \text{Este}$ ;  $180^\circ = \text{Sur}$ ;  $270^\circ = \text{Oeste}$ .

La rapidez se expresa en:

Kilómetros por hora (Km/h)

Metro por segundo (m/s) =  $3.6 \text{ Km/h}$

Millas por hora:  $1 \text{ milla/h} = 1.609 \text{ Km/h} = 0.447 \text{ m/s}$

Nudos (Kt):  $1 \text{ nudo} = 1.853 \text{ Km/h} = 0.515 \text{ m/s}$

En las estaciones meteorológicas el viento se mide a  $10 \text{ m}$  sobre la superficie y los sensores deben instalarse en un lugar bien expuesto. Se recomienda que si hay obstáculos que alteren la velocidad y dirección del viento, la distancia al punto de medición sea por lo menos unas 20 veces la altura del obstáculo.



### **Anemómetro de copelas:**

En el anemómetro de copelas se mide la velocidad de rotación de una estructura formada por casquetes semi-esféricos que giran con respecto a un eje vertical por la acción del viento (Figura 7). En los equipos modernos la velocidad de rotación de las copelas se mide mediante transductores eléctricos.



Figura 7: Anemómetro y veleta.

### **Anemómetro de compresión:**

El anemómetro de compresión se basa en el tubo de Pitot y está formado por dos pequeños tubos, uno de ellos con orificio frontal (que mide la presión dinámica) y lateral (que mide la presión estática), y el otro sólo con un orificio lateral. La diferencia entre las presiones medidas permite determinar la velocidad del viento.

### **Anemómetro de hilo caliente:**

Lo que se mide en este tipo de instrumento es la disipación de calor desde un conductor metálico de diámetro muy pequeño, cuando es expuesto al viento. El conductor se integra en un circuito eléctrico por el cual circula corriente. Si se mantiene constante la temperatura del conductor, la corriente eléctrica es una función conocida de la velocidad del viento. Los anemómetros de hilo caliente se utilizan cuando se requiere una alta tasa de muestreo de la velocidad del viento (por ejemplo en mediciones de turbulencia del viento).

### **Anemómetro sónico:**

Este tipo de anemómetros se basa en que la velocidad de propagación del sonido depende de la velocidad del viento. Lo que se mide en este caso es el tiempo que demora una señal de sonido en atravesar una distancia conocida (normalmente unos 20 cm). Este intervalo de tiempo está relacionado con la velocidad del viento en la dirección entre el emisor y el receptor. Mediante una medición similar, realizada en una dirección perpendicular a la anterior, se puede calcular la velocidad total del viento y su dirección (Figura 8).

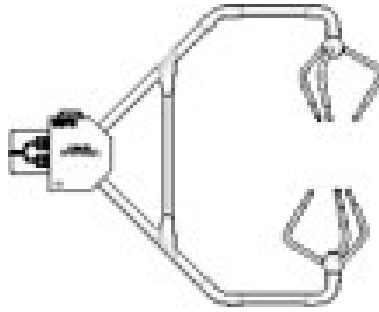


Figura 8: Anemómetro sónico.

### **Veleta:**

Se utiliza para medir la dirección del viento. Está formada por una placa plana colocada en un plano vertical y que gira libremente orientándose siempre en la dirección del viento debido a su momento de inercia (Figura 7).

## **1.4. Precipitación**

La precipitación es cualquier forma de agua, en estado líquido o sólido, que cae de las nubes hasta llegar a la tierra. En las mediciones de precipitación se mide la tasa de acumulación de lluvia o nieve por unidad de área horizontal. Una acumulación de 1 mm corresponde a un volumen de 1 litro por metro cuadrado de superficie. Por ejemplo si sobre Santiago (área =  $1400 \text{ km}^2$ ) caen 10 mm de precipitación, se tendría un volumen de 14 millones de  $\text{m}^3$  de agua, es decir, 14 millones de toneladas ( $\rho_{\text{agua}} = 1000 \text{ Kg}/\text{m}^3$ ,  $1 \text{ Ton} = 1000 \text{ Kg}$ ).

### **Pluviómetro:**

El pluviómetro sirve para medir la cantidad de lluvia caída en un intervalo de tiempo determinado. Para ello se dispone de una probeta graduada donde se efectúan las lecturas directamente en milímetros o en litros por metro cuadrado. Esta formado por un vaso cilíndrico que recoge el agua que le aporta el embudo o probeta graduada (Figura 9).



Figura 9: Pluviómetro.

### **Pluviómetro de vástula:**

Es un pluviómetro de amplia utilización en estaciones meteorológicas automáticas, tiene un sistema de registro que incluye dos pequeños recipientes que alternan sus posiciones para recibir el agua que se recibe de la zona de captación (vástula). La capacidad de llenado de cada recipiente equivale a una cierta cantidad de precipitación. Cuando uno de los recipientes se llena, el sistema se vuelca por gravedad, vaciándose el recipiente lleno y quedando el otro en posición de llenado. Mediante un contacto eléctrico se registra la frecuencia de volcamientos, lo cual es proporcional a la intensidad de la precipitación (Figura 10).



Figura 10: Pluviómetro de vástula.

### **Acumulación de nieve:**

Existen diversos métodos para medir la acumulación de nieve sobre el suelo. En el más sencillo se mide mediante una regla graduada. Para una medición automática se utiliza un sistema mediante el cual se mide el tiempo que demora un pulso acústico desde que se emite a unos 10 m de altura hasta que el eco de la reflexión llega al punto de emisión. En la medida que se acumula la nieve (sube el nivel), el tiempo disminuye. Como la velocidad del sonido depende de la densidad del aire, es necesario registrar también su temperatura. Otro sistema está constituido por un colchón inflado (snow pillow). En este caso se registra la presión interna del colchón, la cual aumenta debido al peso de la nieve que soporta.

## **1.5. Evaporación**

La evaporación se define como el cambio de estado consistente en el paso de un líquido al estado de vapor, que tiene lugar de forma gradual, sólo en la superficie del líquido y a temperatura inferior a la de ebullición. La causa de la evaporación se encuentra en la teoría cinética molecular de la materia. Las moléculas que integran un líquido tienden a escapar de él por efecto de su energía cinética, sólo lo consiguen aquellas que disponen de la energía suficiente para vencer la atracción de las otras moléculas de líquido. Al perder estas moléculas, el líquido pierde energía, es decir, se enfría, de modo que para mantener su temperatura y proseguir la evaporación es preciso aportar calor.

**Evaporímetro:**

El tanque de evaporación es el instrumento que se utiliza más a menudo para estimar la evaporación que se produce desde una superficie de agua. La versión más difundida se denomina Tanque Clase A, tiene un diámetro de 120 cm y una profundidad de 25.4 cm. La medición consiste en agregar diariamente agua al estanque de modo de reponer la que se pierde por evaporación. Se instala sobre una plataforma de madera y el espacio alrededor debe estar cubierto de césped. La cantidad de agua agregada es equivalente a la evaporación del día (Figura 11). Por lo rudimentario del instrumento, las mediciones son muy inexactas y en la práctica se utilizan sólo para estimar la evaporación potencial, en el módulo 2 se verán métodos mucho mas exactos para estimar este flujo.



Figura 11: Evaporímetro.

## 1.6. Vapor en la atmósfera

Al agua en estado de gas se le llama vapor de agua. El vapor de agua se encuentra sólo en pequeña proporción en la atmósfera, con una concentración entre 0 y 4 %, pero esta pequeña cantidad es de gran importancia, porque permite la formación de nubes y precipitación.

La humedad es el término usado para describir la cantidad de vapor de agua en el aire. En condiciones normales (típicas en la atmósfera), el aire está “subsaturado”. La saturación puede alcanzarse aumentando el vapor en el aire (humidificación) o disminuyendo la temperatura. Si se excede del límite de vapor que puede contener el aire se dice que está sobresaturado de humedad, el exceso de vapor se condensa para convertirse en niebla o nubes.

Se usan diferentes parámetros para expresar cuantitativamente el contenido de humedad en la atmósfera los que veremos a continuación.

### Presión de vapor:

La cantidad de vapor presente en la atmósfera se puede expresar por la presión que ejerce el vapor,  $e$ , independientemente de los otros gases. La presión total de la atmósfera es la suma de la presión que ejerce el aire seco más la presión ejercida por el vapor de agua,  $e$  (según la ley de Dalton). La cantidad máxima de vapor que puede presentarse depende de la temperatura ambiente. Cuanto mayor sea la temperatura, más vapor puede contener el aire. Cuando el aire está saturado de vapor de agua, la presión parcial del vapor de agua,  $e_s$ , depende sólo de la temperatura de acuerdo a la ecuación de Clausius-Clapeyron (Figura 12).

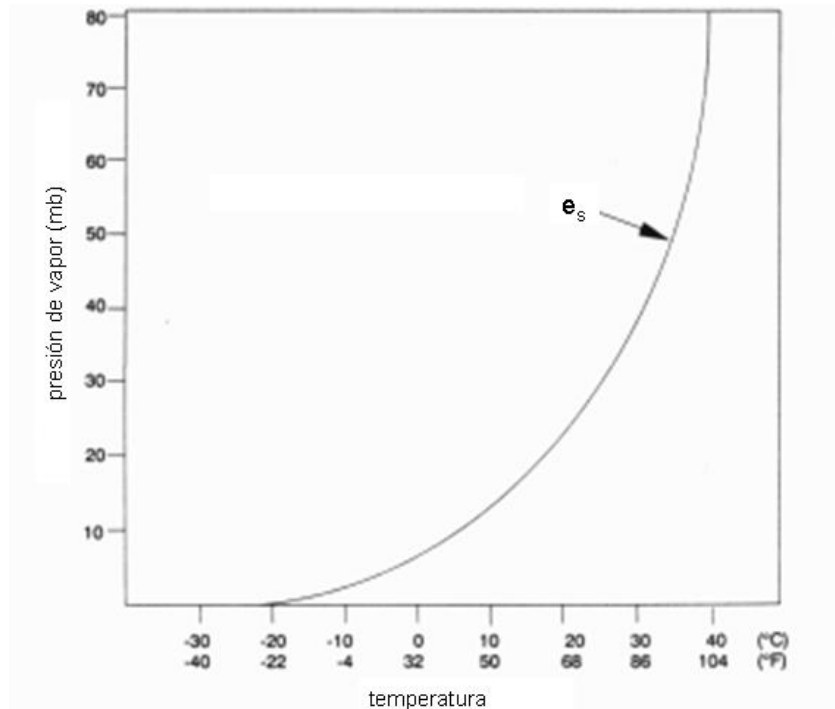


Figura 12: Curva de Clausius-Clapeyron.

**Humedad absoluta:**

La humedad absoluta,  $\rho_v$  ( $g/m^3$ ), es la densidad de vapor de agua contenido en el aire a una temperatura y presión determinados:

$$\rho_v = \frac{e}{R_v T} \quad (1)$$

donde  $e$  esta en [hPa] y  $T$  esta en [°K],  $R_v = R^*/M_v = 0,461$  [joule mol  $g^{-1}$ ].

Si el aire esta saturado se tiene  $\rho_v = \rho_{vs}(e_s, T)$ .

**Razón de mezcla:**

La razón de mezcla,  $r$  ( $g/Kg$ ), se define como la razón entre la masa de vapor de agua,  $\rho_v$ , y la masa de aire seco,  $\rho_d$ :

$$r = \frac{\rho_v}{\rho_d} = 0,622 \frac{e}{p - e} \quad (2)$$

Si el aire esta saturado se tiene  $r = r_s(e_s, p)$ .

**Humedad específica:**

La humedad específica,  $q$  ( $g/Kg$ ), de una muestra de aire húmedo, representa la cantidad de vapor de agua,  $\rho_v$ , contenida en la masa de aire húmedo,  $\rho_v + \rho_d$ :

$$q = \frac{\rho_v}{(\rho_v + \rho_d)} = \frac{0,622e}{(p - 0,378e)} \quad (3)$$

Si el aire esta saturado se tiene  $q = q_s(e_s, p)$ .

**Humedad relativa:**

La humedad relativa,  $HR$  (%), es la proporción de vapor de agua real en el aire comparada con la cantidad de vapor de agua necesaria para la saturación a la temperatura correspondiente. Indica que tan cerca está el aire de la saturación. Se mide en porcentaje entre 0 y 100, donde el 0% significa aire seco y 100% aire saturado:

$$HR = \frac{r}{r_s} \cong \frac{e}{e_s} \cong \frac{q}{q_s} \quad (4)$$

Notar que  $HR = HR(e, e_s(T)) = HR(p, T)$ .

### Temperatura del punto de rocío:

La temperatura de punto de rocío,  $T_d$ , es la temperatura a la cual el aire se satura si se enfría a presión constante. La  $T_d$  esta únicamente determinada por la presión de vapor del aire y por lo tanto es la temperatura a la cual la presión de vapor es igual a la presión de saturación del aire, es decir,  $e = e_s(T_d)$ .

## 1.7. Instrumentos para medir humedad atmosférica

Los instrumentos que se utilizan para medir la humedad son el Higrómetro y el Psicrómetro, y las cantidades que se miden son en el primer caso, la humedad relativa, y en el segundo, la temperatura y la temperatura del punto de rocío y por lo tanto en forma indirecta la humedad.

### Higrómetro mecánico

Están basados en la propiedad de algunos materiales (cabello humano, algodón, seda, papel, etc.) de cambiar su dimensión física dependiendo de la humedad relativa del aire. Cuando el aire está seco las células del cabello están juntas unas a otras, pero cuando el aire está húmedo los espacios entre las células absorben vapor de agua y el cabello aumenta de grosor y longitud. Este alargamiento es el que se usa para medir la humedad.

Este instrumento tiene un haz de cabello cuyo extremo superior está fijado al armazón y el inferior sujeta un peso. El peso está conectado por palancas amplificadoras a un sistema de transmisión que termina en un señalador que, moviéndose sobre una escala, indica la humedad relativa (Figura 13). El higrómetro se puede transformar en un aparato registrador y entonces se llama higrógrafo. Corrientemente, el higrógrafo y el termógrafo están incorporados en un solo instrumento.



Figura 13: Higrómetro mecánico.

### **Higrómetro basado en el uso de componente electrónica**

Se utiliza la capacidad de ciertos materiales de absorber moléculas de vapor de agua a través de su superficie. Este proceso, al modificar las propiedades eléctricas de una componente de un circuito electrónico (resistencia o condensador), permite crear una señal eléctrica que es proporcional a la humedad. Este tipo de sensor se utiliza en estaciones meteorológicas automáticas y en equipos de radiosondeos.

### **Higrómetro espectroscópico**

Son equipos de alta precisión. Se basan en la propiedad del vapor de agua en la atmósfera de absorber radiación infrarroja en bandas específicas del espectro electromagnético. La mayor o menor radiación absorbida se relaciona con el nivel de humedad del aire. Se utilizan en mediciones de humedad donde se requiere una alta tasa de muestreo, por ejemplo en mediciones de turbulencia del vapor de agua.

### **Psicrómetro**

El psicrómetro está formado por dos termómetros. El bulbo de uno de ellos está envuelto en un tejido que se mantiene siempre humedecido. Ambos termómetros se exponen a una corriente de aire, ya sea mediante un ventilador mecánico o por agitación (Figura 14). La evaporación en el tejido que envuelve al bulbo húmedo hace descender la temperatura, dado que se absorbe calor del ambiente, que se convierte en trabajo aplicada al cambio de estado del agua. Si la atmósfera está saturada la evaporación es nula y por lo tanto ambas temperaturas coinciden. La relación entre la diferencia de temperatura que miden los dos termómetros y la humedad relativa no es directa, ya que depende de la temperatura real del aire, y de la presión atmosférica.



Figura 14: Psicrómetro.



## 2. Guía de trabajo

### 2.1. Objetivos

El objetivo de esta experiencia es familiarizar al alumno con los instrumentos meteorológicos y trabajar con las series de tiempo asociadas a las variables atmosféricas básicas. Para ésto se trabajará con datos reales de temperatura, humedad relativa y radiación solar, medidos en la estación DGF durante un mes, y promediados a intervalos de 5 minutos.

### 2.2. Materiales

La estación meteorológica automática DGF, registra las variables atmosféricas básicas (temperatura y humedad del aire, presión, radiación solar incidente, viento y precipitación) y se mantiene fija en la terraza del Departamento, constituyendo la referencia para otras mediciones. Sus registros datan desde Enero 1999 en forma continua, y sus observaciones son enviadas en tiempo real a un PC dedicado a su almacenamiento y visualización.

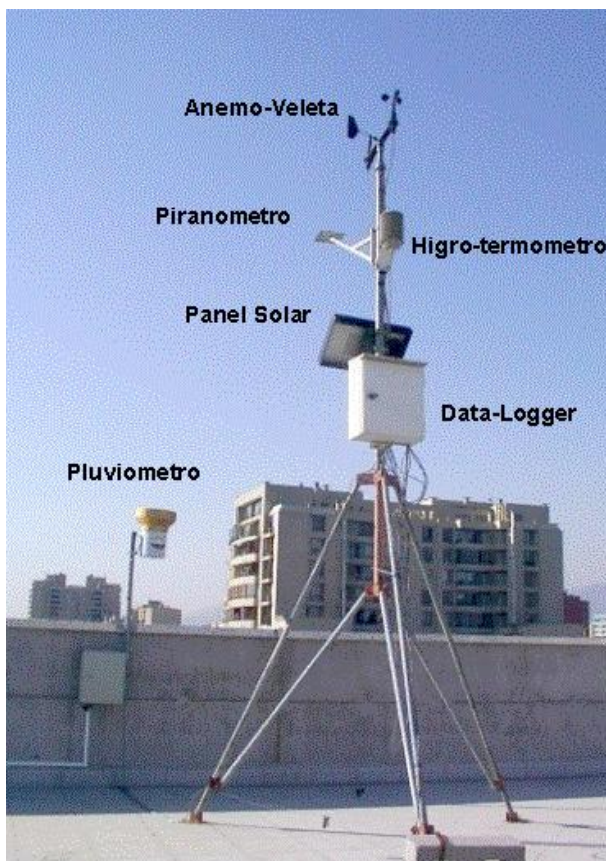


Figura 15: Estación DGF.

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 1 se presentan los detalles de la instrumentación utilizada.

Tabla 1: Instrumentación estación DGF.

Variable	Instrumento	Modelo/Marca
Temperatura del aire [ $^{\circ}C$ ]	Higro-termómetro de estado sólido	CS-500 campbell Sci.
Humedad relativa [%]	Higro-termómetro de estado sólido	CS-500 campbell Sci.
Radiación solar [ $W/m^2$ ]	Piranómetro silicon	LI200X Campbell Sci.
Presión atmosférica [ $hPa$ ]	Barómetro de estado sólido	PTA-127 Vaisala
Precipitación [ $mm$ ]	Pluviómetro de vástula	TE525mm Texas Instruments

### 2.3. Trabajo práctico

1. Grafique y analice las series de tiempo de temperatura, humedad relativa y radiación solar. ¿Observa algún tipo de ciclo en las variables graficadas?. En caso afirmativo, encuentre el período y amplitud de los ciclos observados para cada variable.
2. La regresión es una técnica estadística utilizada para estudiar la relación existente entre dos o más variables. Según sea la dispersión de los datos en el plano cartesiano, pueden darse alguna de las siguientes relaciones: lineal, logarítmica, exponencial, cuadrática, entre otras. Busque algún tipo de relación entre la temperatura y la humedad relativa. ¿Se repite la misma relación al correlacionar estas variables como promedios diarios?.

# Bibliografía

Aceituno, P., Garreaud R. López B., & Pichara, V. 2004. “Sitio web: [www.atmosfera.cl](http://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.