

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

Facultad de Ingeniería

---

**INSTRUMENTOS Y METODOS  
DE OBSERVACION - PARAMETROS  
METEOROLOGICOS DE PRESION  
TEMPERATURA Y HUMEDAD**

THM  
1963  
C34

Israel Camacho S.

Septiembre 1963

## ERRATAS

Página	Línea	Debe leerse:
17	14	tambor
21		resistencia $T_s$
22	21	de los cables, aislado, para ...
27	5	altura:
		$-\frac{dp}{dh} = \rho \cdot g$
"	6	partiendo
28	23	1.- Barómetros de mercurio, basados..
		2.- Barómetros aneroides
		3.- Hipsómetros.
		La razón .....
55	18	en orden de ser menor, cuando ..

TESIS  
C5  
03

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

FACULTAD DE INGENIERIA

INSTRUMENTOS Y METODOS DE OBSERVACION

PARAMETROS METEOROLOGICOS DE PRESION

TEMPERATURA Y HUMEDAD

TRABAJO ESPECIAL PRESENTADO  
ANTE LA UNIVERSIDAD CENTRAL  
PARA OPTAR EL TITULO DE  
HIDROMETEOROLOGISTA

ISRAEL CAMACHO S

SEPTIEMBRE DE 1963

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

FACULTAD DE INGENIERIA

INSTRUMENTOS Y METODOS DE OBSERVACION

PARAMETROS METEOROLOGICOS DE PRESION

TEMPERATURA Y HUMEDAD

TRABAJO ESPECIAL PRESENTADO  
ANTE LA UNIVERSIDAD CENTRAL  
PARA OPTAR EL TITULO DE  
HIDROMETEOROLOGISTA

ISRAEL CAMACHO S

SEPTIEMBRE DE 1963

## INTRODUCCION

La Meteorología es una rama de la Geografía física cuyo campo comprende el estudio de la física de la atmósfera, con sus variables de: temperatura del aire a diferentes niveles; temperatura del suelo y de la superficie del mar; presión atmosférica, con sus variaciones y tendencias; radiación solar; el viento; humedad del aire; precipitaciones; estado del cielo, clase y cantidad de nubes; meteoros eléctricos y luminosos. Este es el campo de la Meteorología Descriptiva. La Climatología se ocupa de la influencia de los factores meteorológicos sobre el clima de un lugar. La Meteorología Sinóptica, comprende el estudio evolutivo del tiempo. La Meteorología Dinámica, estudio de las teorías matemáticas de la evolución de los fenómenos meteorológicos.

Para la observación de cada uno de los factores meteorológicos, se emplean instrumentos, que pueden ser de lectura directa o instrumentos registradores, que dejan el record de variación de esos factores. Los instrumentos utilizados para la observación son los siguientes: termómetros; barómetros; anemómetros; psicrómetros; pluviómetros; nefoscopios; heliofanómetros, actinómetros.

El primer trabajo sobre fenómenos meteorológicos se debe a Aristóteles, con la publicación de Meteorológicas; época que se continúa con el invento del barómetro de Torricelli.

Desde estos primeros tiempos hasta nuestros días, se ha progresado considerablemente en cuanto a instrumental de observación se refiere

En el presente trabajo se da una descripción de parte del instrumental de observación, así como también los métodos de observación, para los parámetros meteorológicos de temperatura, presión y humedad del aire en superficie.

## TEMPERATURA

### INSTRUMENTOS DE MEDICION

#### CONCEPTOS GENERALES

La temperatura de un cuerpo, es la medida de su estado relativo de calor o de frío, o sea, es el estado de un cuerpo con un grado mayor o menor de calor.

Cuando tocamos un cuerpo, nuestro sentido del tacto nos permite hacer una estimación, y por ello, un tanto aproximada, de su estado térmico. El sentido del tacto nos permite conocer en una forma cualitativa la relatividad de frío o calor en relación con la temperatura que posee la persona. Así, pues, nuestro sentido del tacto tiene un alcance demasiado restringido, pues, no nos permite hacer una valoración cuantitativa de la temperatura, esto es, no nos permite saber cuanto vale ese mayor o menor grado de calor de un cuerpo en un momento determinado. Es preciso, entonces, valernos de propiedades físicas de algunas sustancias que sufran variaciones con la temperatura y que a la vez esas variaciones puedan ser medibles.

Todo instrumento que mediante variación de algunas de sus propiedades con la temperatura nos permite hacer una valoración de la misma, recibe el nombre de termómetro.

Entre otras propiedades físicas variables con la temperatura, en Meteorología se utilizan las siguientes:

- 1.- La expansión térmica
- 2.- La variación de la resistencia eléctrica de un conductor.
- 3.- Fuerza electromotriz en termocuplas.

Para propósitos meteorológicos, interesa conocer la temperatura de las siguientes medios:

- 1.- Temperatura del aire cerca de la superficie
- 2.- Temperatura del aire superior
- 3.- Temperatura del suelo a diferentes niveles
- 4.- Temperatura de la superficie de aguas

#### CLASIFICACION DE LOS TERMOMETROS

Haciendo uso de la variación de las propiedades físicas anteriormente mencionadas, se construyen los termómetros, los cuales son diseñados para cumplir un trabajo específico dentro del campo de la Meteorología.

Atendiendo a las propiedades físicas cuya variación es función de la temperatura encontramos la siguiente clasificación:

- 1.- Propiedad de expansión térmica:
  - a) Termómetro de líquido en depósito de vidrio
  - b) Termómetro de líquido en metal
  - c) Termómetro bimetálico de láminas soldadas
- 2.- Propiedad eléctrica:
  - a) Termómetro de resistencia
  - b) Termocuplas

Los termómetros de líquido en depósito de vidrio, de acuerdo a la función específica que han de desempeñar, se clasifican de la siguiente manera:

- |                         |                         |
|-------------------------|-------------------------|
| a) termómetro Normal    | d) termómetro de Mínima |
| b) termómetro de Honda  | e) termómetro de suelo  |
| c) termómetro de Máxima |                         |

## PRINCIPIOS GENERALES SOBRE LA EXPANSION TERMICA

En la generalidad de los casos, las dimensiones de los cuerpos aumentan cuando aumenta su temperatura, Si tomamos una lámina de longitud  $L_0$  para una temperatura  $T_0$  y hacemos variar esta condición inicial de temperatura hasta un valor  $T_1$ , la lámina experimentará un aumento en su longitud inicial:

$$\Delta L = L_1 - L_0 \quad \text{para } T_1 > T_0$$

Esta variación  $\Delta L$  es proporcional a la longitud inicial y a la diferencia de temperaturas desde el primer estado al segundo estado, por lo que pueden establecerse la relación

$$\Delta L = a \cdot L_0 \cdot \Delta T$$

donde  $a$  es un coeficiente de proporcionalidad para cada sustancia

$$a = \frac{\Delta L}{L_0} \cdot \frac{1}{\Delta T}$$

La relación de variación de la longitud con la temperatura puede expresarse de la siguiente manera:

$$L_1 = L_0 (1 + a \cdot \Delta T)$$

esta relación nos da la longitud de la lámina para una temperatura  $T_1$ . Ahora, si designamos por  $B_0$  la anchura inicial de la lámina para una temperatura  $T_0$  y por  $B_1$  el ancho para una temperatura  $T_1$ , entonces

$$B_1 = B_0 (1 + a \cdot \Delta T)$$

y el área de la lámina para el segundo estado térmico será:

$$S_1 = L_1 \cdot B_1 = S_0 (1 + 2 \cdot a \cdot \Delta T)$$

$$\check{S}_1 = S_0 (1 + b \cdot \Delta T)$$

$$2a = b$$

Haciendo los mismos razonamientos anteriores, concluimos con que la correspondiente variación del volumen por influencia de la variación de la temperatura, es:

$$V = V_0 ( 1 + ct )$$

$$C = 3\alpha$$

#### TERMOMETRO DE LIQUIDO EN DEPOSITO DE VIDRIO

En los termómetros de líquido en depósito de vidrio, se utiliza la propiedad de expansión del volumen de una sustancia líquida con la temperatura. El líquido se coloca en un depósito, el bulbo del termómetro, el cual se comunica con un tubo de sección capilar, cubierto por un cuerpo de vidrio de forma mas o menos cilíndrica en los casos generales. La propiedad de expansión del volumen con la temperatura, es la que nos va a permitir una medida de la misma; pero hay que hacer notar, que en la práctica, no se da como medida de la temperatura la variación de ese volumen, sino que se hace una correspondencia numérica de ese volumen en una escala de medidas longitudinales, mediante el desplazamiento de una columna através del capilar. Para hacer la escala de correspondencia numérica, se han tomado como referencia estados térmicos, que previa fijación de condiciones iniciales se pueden realizar y reproducir con sencillez, sin que por ello se despre- cie su precisión.

La longitud de la columna para una temperatura  $t$  está dada por la siguiente relación:

$$L = \frac{V_0}{S_0} (\delta_L - \delta_V) \cdot t$$

$V_0$  Volumen inicial

$S_0$  área del bulbo

$\gamma_L$  coeficiente de dilatación cúbica del líquido

$\gamma_V$  coeficiente de dilatación cúbica del vidrio

Con el objeto de que las variaciones del líquido termométrico se hagan fácilmente perceptibles en la escala numérica, los termómetros se construyen adaptándole al depósito un tubo capilar por donde ha de desplazarse la superficie libre del líquido que ha de servir como índice para la lectura en la escala; consiguiéndose con ésto que una pequeña variación del volumen del líquido dentro del depósito consecuencia de una pequeña variación en el estado térmico del medio en contacto con el termómetro, se traduzca en un desplazamiento notable del extremo libre de la columna.

Los puntos fijos de referencia para la formación de la escala del termómetro, se logran mediante las siguientes experiencias:

En primer lugar, si tomamos un estado térmico de equilibrio entre el agua y el hielo y se fija la condición de presión en 1013,25 milibares, se coloca el termómetro en contacto con dicha mezcla manteniendola bajo constante agitación, se nota que el nivel superior de la columna se mantiene en una posición fija en estas condiciones; posición que adopta cuantas veces se repita el procedimiento. Así se logra una referencia principal perfectamente determinada. En segundo lugar, si se coloca el termómetro en la proximidad de un depósito con agua destilada, se observa que a medida que se le va suministrando calor, la columna se

va desplazando, observándose la variación en ascenso por el movimiento y posición de la superficie libre de la columna. Después de un corto tiempo se nota que la posición de la superficie libre de la columna se hace estacionaria; lográndose así otro punto principal de referencia perfectamente determinado. Este nivel estacionario se consigue cuando el agua comienza a hervir, o sea cuando se alcanza la temperatura de ebullición del agua a una presión de 1013,25 milibares. Como resultado de estas experiencias, se ha convenido en asignar a la temperatura del hielo fundente en condiciones normales de presión el valor cero en la escala de las temperaturas y a la temperatura de ebullición del agua destilada en las mismas condiciones de presión, el valor numérico 100. Convencionalmente se le asigna a la escala los valores de cero y cien como puntos principales. Esta escala, que toma como puntos fijos de referencia el de fusión del hielo y el punto de ebullición del agua destilada y que se le asignan respectivamente los valores de 0 y 100 se conoce con el nombre de escala centígrada de temperaturas. El intervalo de 0 a 100 se divide en cien partes iguales, a cada una de estas divisiones corresponde el llamado grado centígrado, los cuales a la vez se subdividen para obtener las décimas de grado.

Además de la escala centígrada existe la escala Reomur, donde también se le asigna el valor cero al estado térmico de fusión del hielo, mientras que al punto de ebullición del agua se le asigna el valor 80, con una amplitud del intervalo de 80 grados Reomur. Como el intervalo de 100 en la escala centígrada

corresponde a un intervalo de 80 en la escala Reomur, tendremos la siguiente relación de escala:

$$\frac{T_C}{T_R} = \frac{100}{80} = \frac{5}{4}$$

$$T_C = \frac{5}{4} T_R \quad T_R = \frac{4}{5} T_C$$

Otra escala usada, es la escala Fahrenheit, en la cual al punto de fusión del hielo se le atribuye el valor 32 y al punto de ebullición del agua el valor 212, con un intervalo de 180 grados Fahrenheit, estableciéndose la siguiente relación de escala:

$$\frac{T_C}{T_F - 32} = \frac{100}{180} = \frac{5}{9}$$

$$T_C = \frac{5}{9} (T_F - 32) \quad T_F = \frac{9}{5} (T_C) + 32$$

Una cuarta escala es la llamada escala Absoluta que se obtiene al añadir el valor 273,16 a cada temperatura centígrada para así abarcar hasta el llamado cero absoluto de -273,16 grados centígrados. Así, el punto de equilibrio hielo-agua será de 273,16 grados absolutos y el punto de ebullición del agua será de 373,16 grados absolutos.

RELACION DE ESCALAS EN BASE A LOS PUNTOS DE FUSION DEL HIELO  
Y DE EBULLICION DEL AGUA DESTILADA PARA UNA PRESION DE 1013,25  
MILIBARES

ESCALA	PUNTO DE FUSION	PUNTO DE EBULLICION	RELAC/grado
F	32	212	9
C	0	100	5
A	273	373	5
R	0	80	4

LIQUIDOS TERMOMETRICOS

Los líquidos, generalmente usados en la fabricación de termómetros son el mercurio y el alcohol cuyos coeficientes de dilatación cúbica son respectivamente  $0,182 \times 10^{-3}$  y  $0,745 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

El mercurio puede usarse para fines climatológicos desde las temperaturas mas altas observadas hasta temperaturas de  $-38 \text{ } ^\circ\text{C}$  la cual está cerca del punto de congelación del mercurio. Para temperaturas mas bajas se utilizan termómetros de alcohol; el mas comunmente usado es el alcohol etílico con un punto de congelación de  $-112 \text{ } ^\circ\text{C}$  y un punto de ebullición de  $78 \text{ } ^\circ\text{C}$

MANERA DE INSTALAR LOS TERMOMETROS

Para temperaturas del aire, la forma de instalar los termómetros ha de ser aquella que nos dé una medida de la temperatura del aire libre, evitando la acción directa de los rayos solares sobre el instrumento, en un lugar adecuado, dentro de una caseta bien ventilada.

## CONDICIONES QUE DEBE REUNIR EL TERMOMETRO

El termómetro, en Meteorología, ha de reunir, ante todo, las condiciones exigidas para cualquier instrumento de esta clase: regularidad de la escala y exacta posición del cero, o sea que mantenga su calibración

### ERRORES EN LOS TERMOMETROS DE LIQUIDO EN VIDRIO

#### 1.- Error por elasticidad

a) reversibles

b) irreversibles

#### 2.- Error por inmersión del bulbo

#### 3.- Error de observación ( paralaje )

Error por elasticidad

#### Reversible

El error por elasticidad del vidrio, reversible, puede afectar con importancia las lecturas cuando el termómetro es expuesto por cortos períodos de tiempo a temperaturas de alto rango de variación. Este error depende del vidrio utilizado en la fabricación del termómetro, y puede reducirse al mínimo usando vidrio de buena calidad no obstante aún hay aporte de error del orden de los 0,05 °F. El efecto que pueda producir este error no es de gran importancia para fines meteorológicos.

#### Irreversible

El error irreversible de elasticidad es de mayor importancia, el bulbo del termómetro tiende a contraerse con el tiempo, causando con ésto un ascenso en la correcta posición del cero, es decir se pierde la calibración original del instrumento. Es u-

na contracción lenta del bulbo del termómetro que puede durar varios años. El mayor cambio en las dimensiones del bulbo se nota en el primer año de funcionamiento, cambio que se va haciendo menor gradualmente. Este error puede reducirse sometiendo el bulbo a los efectos del calor a fin de contrarrestar en parte el proceso de contracción y además usando un vidrio de la mejor calidad en la fabricación del termómetro; no obstante estas prevenciones el error puede llegar hasta los  $0,02^{\circ}$  F. Para evitar estar en presencia de errores significantes a causa de la contracción del bulbo, es conveniente chequear los termómetros periódicamente y hacer la calibración y correcciones a que hubiere lugar

#### Error por inmersión del bulbo

En Meteorología, los termómetros destinados a medir la temperatura del aire, cuando son expuestos a este medio, tanto el bulbo como la prolongación de éste están afectados por la temperatura que tenga el aire, es decir el termómetro se encuentra bajo inmersión total en el medio; es por ésto que los termómetros se calibran para esta forma de trabajo. Ahora, cuando un termómetro calibrado en estas condiciones se quiere utilizar para medir la temperatura de un medio distinto al aire, donde solamente el bulbo ha de estar en contacto, nos encontramos con que la temperatura a la cual se halla expuesto el bulbo, la cual de seamos medir, no es la misma que aquella a la cual se halla expuesto el resto del termómetro, introduciendo de esta manera un error en la lectura de la temperatura.

Si es:

L la longitud de la columna que sobresale del medio

cuya temperatura deseamos medir;

$T_m$  temperatura del medio

$T_e$  temperatura exterior

el error por emersión de la columna será:

$$\Delta L = L (\gamma_e - \gamma_v) (T_m - T_e)$$

$\gamma_e$  coeficientes de dilatación cúbica del líquido

$\gamma_v$  y del vidrio, respectivamente

#### Error de observación (paralaje)

La lectura del termómetro debe hacerse dirigiendo la visual sobre un plano perpendicular al termómetro en el punto donde cae el nivel superior de la columna de líquido, si por el contrario esa visual no se encuentra sobre el plano en referencia se introduce un error en la lectura llamado error de paralaje. Si se observa la figura, al visualizar sobre el plano perpendicular al termómetro se obtendría la lectura correcta  $T_c$ , ahora, si la lectura se hace con la visual inclinada con respecto al plano en referencia leemos un valor  $T_p$ . La diferencia entre estas dos lecturas resulta ser el error de paralaje:

$$\Delta T = T_c - T_p$$

el signo mas o menos obedece a si se hace la observación por encima o por debajo del plano correcto de visualización.

Otro error que puede tener lugar en los termómetros es el debido al fraccionamiento de la columna en termómetros de mercurio, el cual podría corregirse mediante sacudidas para lograr la unificación de la columna; no obstante, después de hecha esta ope-

ración se amerita un chequeo del termómetro a objeto de saber si conserva su calibración; en caso de haberla perdido se hace necesario una nueva calibración.

## TERMOMETROS DE LIQUIDO EN DEPOSITO DE VIDRIO

### Termómetro Normal

En el termómetro Normal el líquido usado es el mercurio, el cual se encuentra alojado en el bulbo. El bulbo se continúa con un tubo de sección capilar por donde ha de desplazarse la columna de mercurio al variar la temperatura. El capilar presenta una sección constante en toda su longitud. La menor división en la escala, la cual se encuentra grabada sobre el cuerpo de vidrio que rodea al capilar, es de dos décimas de grado, pudiéndose estimar fácilmente una décima. En otros casos la escala va grabada sobre una lámina metálica, siendo esta forma menos recomendable debido a que la escala así montada está sujeta a desplazamientos y por el desigual coeficiente de dilatación del metal y del vidrio, se introducirían errores de mayor importancia.

El termómetro Normal va montado sobre un soporte metálico colocado en posición vertical dentro de la caseta meteorológica.

### Termómetro de Honda

Es en realidad un termómetro Normal, con la sola diferencia de que en el extremo opuesto al bulbo lleva un asa a la cual se ata un cordón que permite darle vuelta al instrumento y con ello darle mayor exposición al aire y la temperatura que marca es mas representativa de la temperatura del aire. En la práctica se utiliza para tomar la temperatura instantánea del aire el ter-

mómetro Normal de bulbo seco.

### Termómetro de Máxima

El termómetro de Máxima es de mercurio. Su función característica es la de indicar la temperatura máxima ocurrida durante el día.

Existe un tipo de termómetro de Máxima que presenta un truncamiento cerca del bulbo. Cuando ocurre un aumento en la temperatura, aumenta el volumen del mercurio y ese aumento de volumen provoca el paso forzado através del truncamiento hacia el capilar. Al ocurrir un descenso en la temperatura disminuye el volumen de mercurio en el bulbo, pero la columna no es retraída debido a la cohesión del mercurio en la pared truncada del capilar cerca del bulbo; es por ello que el tope de la columna de mercurio toma una posición estacionaria indicando la temperatura máxima ocurrida durante el día. Una vez obtenida la lectura de la temperatura máxima, mediante sacudidas al termómetro se logra hacer regresar parte del mercurio dentro del capilar hasta el bulbo, quedando así el termómetro en condiciones de iniciar nueva marcha de ascenso. El índice para la lectura de la temperatura lo forma el tope de la columna.

Otro tipo de termómetro de Máxima no presenta el truncamiento anterior, sino que la sección del capilar es constante. El índice lo forma una varilla que va dentro del capilar que toca el extremo libre de la columna de mercurio. Al aumentar la temperatura, el mercurio aumenta su volumen, provocando así el ascenso de la columna. Como la varilla que sirve como índice toca

el tope de la columna, a medida que aumenta la temperatura, la varilla va siendo empujada. Al ocurrir un descenso en la temperatura, parte del mercurio dentro del capilar se retrae, pero el índice se queda estacionado marcando la temperatura máxima, cuya lectura se hace por el extremo del índice que se pone en contacto con la superficie del mercurio.

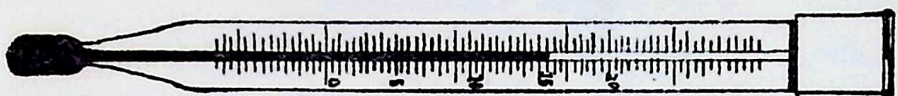
El termómetro de Máxima debe colocarse en posición horizontal, a fin de evitar algún desplazamiento del índice por efectos de la gravedad.

Como la temperatura máxima ocurre en horas después del mediodía, la lectura del termómetro debe hacerse en horas de la tarde, aproximadamente a las cinco.

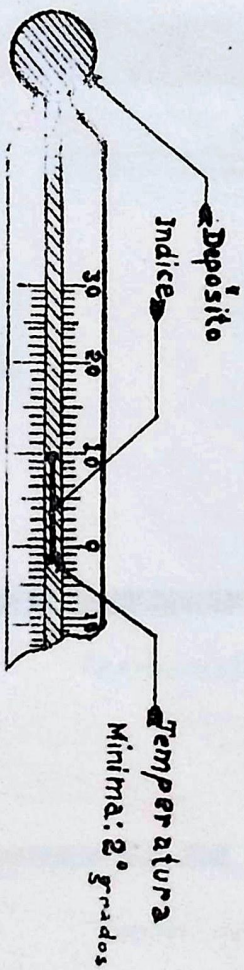
#### Termómetro de Mínima

Los termómetros de Mínima son generalmente de alcohol, con índice de hierro esmaltado, el cual se encuentra dentro de la columna de alcohol en el capilar. Debido a bajas en la temperatura, la columna de alcohol se retrae y la tensión superficial del líquido arrastra al índice hacia el bulbo, quedando marcando la temperatura mínima que hubiese ocurrido durante el día. La lectura de la temperatura se hace sobre la posición del índice mas cerca al extremo del líquido. El termómetro de Mínima debe colocarse en posición horizontal para evitar los mismos efectos de la gravedad que en el caso del termómetro de Máxima.

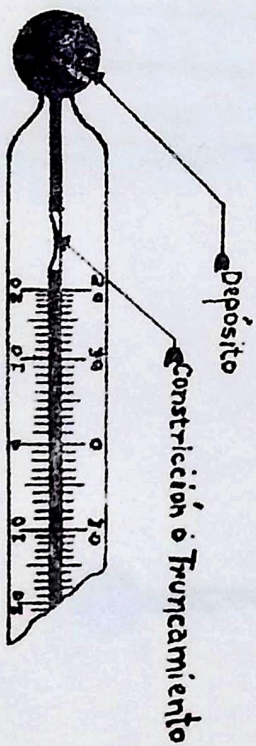
La lectura del termómetro de Mínima se hace, en atención a que la temperatura mínima ocurre en horas de la noche. Luego de tomada la lectura de la temperatura, se le da una pequeña incli-



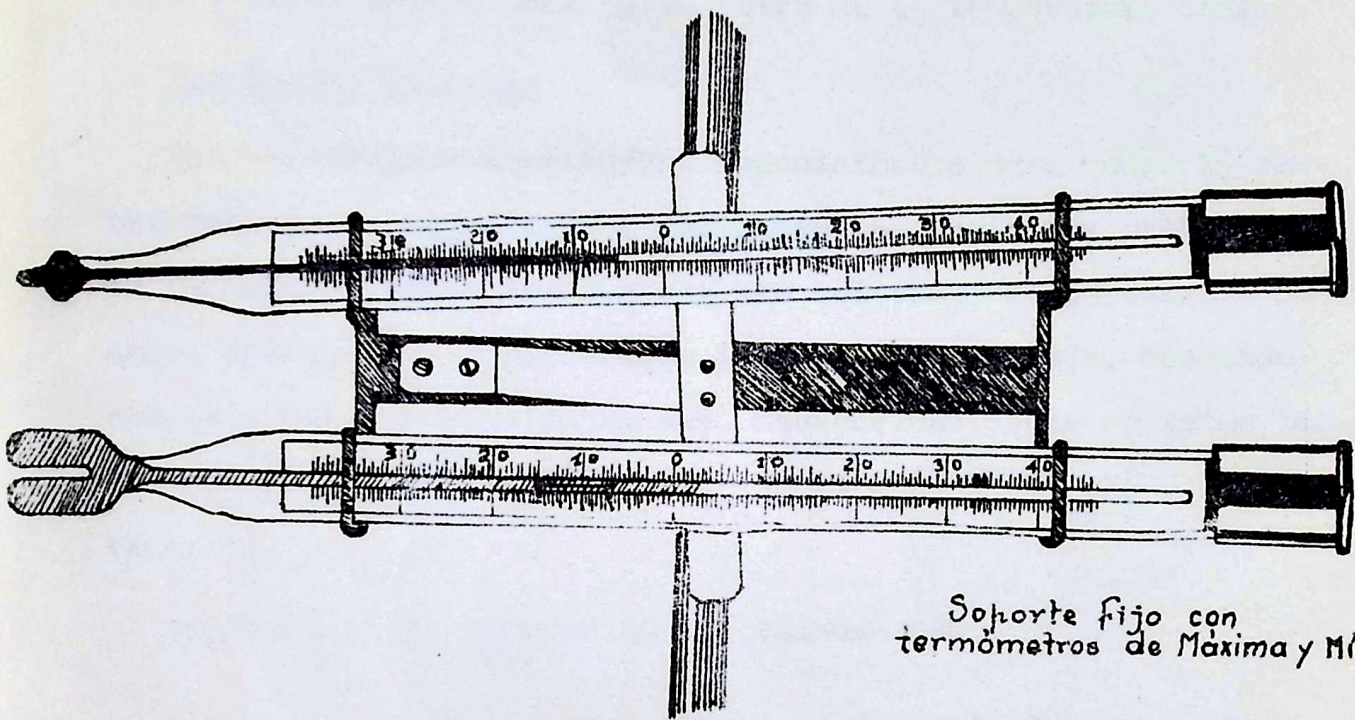
Termómetro Normal



Termómetro de Mínima



Termómetro de Máxima



Soporte fijo con  
termómetros de Máxima y Mínima



Termómetro de Máximo fraccionado



Term. de Mínima fraccionado

nación al termómetro con el objeto de que el índice se corra hacia el extremo del líquido, para así estar en condiciones de iniciar nueva marcha para el registro de la temperatura mínima.

### Termómetro de suelo

Son termómetros contruídos especialmente para medir la temperatura de la superficie y del subsuelo, hasta una profundidad de un metro. Estos termómetros van colocados en perchas de madera, las cuales se encuentran a su vez en una caja, conocida con el nombre de caja de Lamont. Convencionalmente se toman las temperaturas a profundidades de 5- 15 - 25 - 50 - 75 - 100 centímetros.

### COEFICIENTE DE RETARDO DE LOS TERMOMETROS

Cuando un termómetro que tiene una determinada temperatura se introduce en un medio con temperatura diferente, no ocurre una adaptación instantánea al nuevo valor de temperatura, sino que ocurre una adaptación gradual. El tiempo que dure esa adaptación varía de acuerdo con el material de construcción del instrumento; dimensiones del bulbo del termómetro y de acuerdo a las condiciones del medio.

El tiempo de adaptación del termómetro con la variación de la temperatura, se expresa de la siguiente manera:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{\lambda} ( T - T_1 )$$

$$\lambda = \frac{C_B \cdot m_B}{S_B (\gamma + k \rho^n V^n)}$$

$C_B$  calor específico del vidrio

coeficiente de retardo

- $m_B$  masa del bulbo  
 $\rho$  densidad del aire que baña al bulbo  
 $v$  velocidad del aire  
 $\delta$  coeficiente de transmisión del calor por conducción  
 $K$  coeficiente de transmisión del calor por convección

Si la temperatura del medio permanece constante, el tiempo de adaptación sería:

$$T - T_1 = (T_0 - T_1) \cdot e^{-t/\lambda}$$

donde  $T_0$  es el valor que toma  $T$  para el instante  $t$  igual a cero.

Si la temperatura del medio varía a una rata constante:

$$T - T_1 = B(t - \lambda)$$

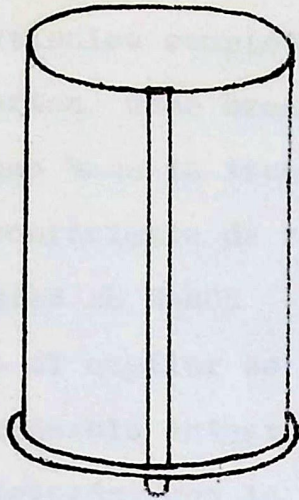
$B$  grados de variación por segundo

## TERMOMETRO DE LIQUIDO EN METAL

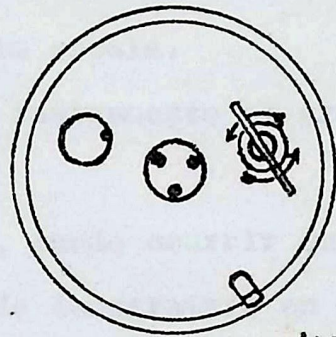
Es un termómetro registrador. Consiste en un bulbo metálico, generalmente acero, dentro del cual va el líquido, generalmente mercurio. Este bulbo de acero se comunica con una cápsula de Bourdon, mediante un largo tubo de sección interior capilar. Una variación en la temperatura del elemento sensible produce una variación del volumen del mercurio contenido en su interior, provocando la salida del mercurio através del tubo capilar que sirve de medio conductor, hasta la cápsula de Bourdon. La variación del volumen del mercurio produce movimientos de contracción o de expansión en la cápsula; movimientos éstos que son aprovechados para la medida de la temperatura, mediante un sistema de brazos de palancas y un elemento de plumilla inscriptota que hace el registro de las variaciones de la temperatura sobre una banda que lleva impresa la escala; esta banda va sobre un tambor accionado por un sistema de relojería.

El instrumento presenta la ventaja de que como el elemento sensible se comunica con la cápsula por medio de un largo tubo capilar, es posible el registro de la temperatura a distancia; de conveniencia en los registros de temperaturas de tierra y mar.

En la instalación del instrumento, todo el sistema se llena completamente de mercurio a una alta presión. El depósito metálico se recubre con una sustancia que evite la corrosión. El tubo de Bourdon consiste, que en realidad es un sistema arrollado de varias vueltas, va unido por su parte central del arrollado a un eje horizontal, que gira en sus extremos sobre dos sopor-



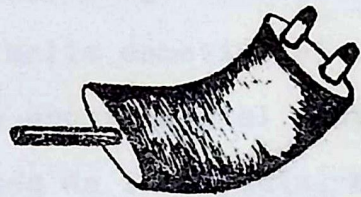
Cilindro metálico  
(vista exterior)



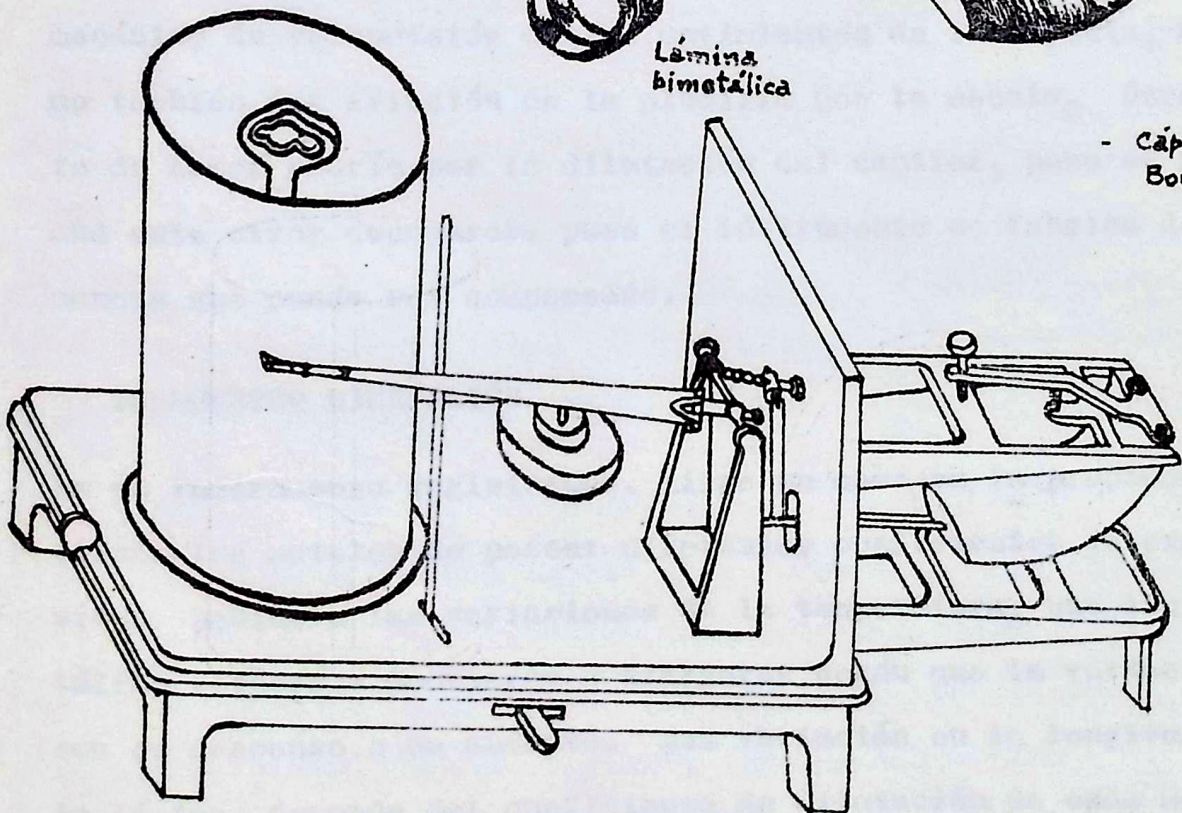
Aparato de relojería  
(vista superior)



Lámina  
bimetálica



- cápsula de  
Bourdon



Termógrafo

tes verticales completamente fijos a una armadura. Del eje central parten unos brazos que transmiten el movimiento a una plumilla que hace la inscripción sobre la escala.

El coeficiente de retardo de este instrumento es grande.

#### FUENTES DE ERROR

Como el capilar es bastante largo, puede ocurrir que el elemento sensible integre la variación de temperatura en el lugar de exposición, con la variación de temperatura a lo largo del camino sobre el cual se asienta el capilar; luego el registro no corresponderá a la temperatura a que se halla sometido el elemento sensible. Otra fuente de error lo constituye el sistema mecánico de transmisión de los movimientos de la cápsula, así como también por fricción de la plumilla con la escala. Otra fuente de error podría ser la dilatación del capilar, pero en realidad este error desaparece pues el instrumento se fabrica de tal manera que pueda ser compensado.

#### TERMOMETRO BIMETALICO

Es un instrumento registrador. Tiene su base en la propiedad que tienen los metales de poseer diferentes coeficientes de expansión. Debido a las variaciones de la temperatura, una lámina metálica tenderá a acortarse o alargarse según que la variación sea en descenso o en aumento. Esa variación en la longitud de la lámina, depende del coeficiente de dilatación de cada metal.

Si se toman dos láminas metálicas de diferente coeficiente de dilatación, soldadas entre sí, la de mayor coeficiente tratará de alargarse o acortarse en mayor amplitud que la lámina de me-

nor coeficiente de dilatación. Como elemento sensible para el termógrafo bimetalico, las láminas soldadas se arrollan en forma de espiral, de tal manera que la lámina de mayor coeficiente de dilatación quede del lado de afuera; al fijar el extremo de esa espiral, al variar la temperatura el elemento bimetalico emprenderá movimientos, los cuales se aprovechan como medida de la temperatura por el sistema de palancas de transmisión, órgano inscriptor y sistema de relojería

### Coeficiente de retardo

El coeficiente de retardo de un termómetro bimetalico, hecho con materiales de buena calidad, es aproximadamente la mitad del retardo de un termómetro de mercurio, por lo que las temperaturas registradas en la gráfica no coinciden en todos los casos con el termómetro de lectura directa. Debe hacerse el chequeo en días convenientes, cuando las variaciones de la temperatura alcanza límites muy pequeños; o también comparando los valores del registro con la lectura del termómetro de Mínima e ir haciendo las correcciones mediante marcas en la gráfica, de acuerdo con las lecturas del termómetro de mínima.

### Errores

Los errores que pueden tener lugar en un termómetro de registro, bimetalico, son principalmente aquellos debidos a fricciones en la escala y la plumilla, los cuales pueden reducirse al mínimo permisible, dándole el ajuste conveniente a la plumilla; además el error que introduce todo instrumento de transmisión mecánica de los movimientos del elemento sensible

## TERMOMETRO DE RESISTENCIA

La resistencia eléctrica de todos los conductores metálicos varía en mayor o menor grado con la temperatura.

La variación de la resistencia con la temperatura, sigue la relación siguiente:

$$R = R_0 ( 1 + A.t + B.t^2 )$$

$R_0$  resistencia a 0 °C

A coeficiente de variación a 100 °C

B coeficiente de variación a 444,60 °C (punto de ebullición del azufre)

Para fines meteorológicos, se puede hacer una calibración de la variación de la resistencia entre los puntos, 0 °C, 100 °C -78,51 °C, puntos de fusión del hielo, de ebullición del agua, y sublimación del bióxido de carbono; y se aplica la ecuación anterior. Entre las temperaturas de -80 °C a -40 °C el máximo error que se comete es de 0,05 °C

Entre los metales que se usan en la construcción de termómetros de resistencia, se citan: el níquel, el cobre y el platino. El platino se usa para instrumentos cuya calibración se mantiene por un largo período.

Cualquiera que sea el metal usado en la construcción de termómetros de resistencia, el elemento sensible consiste en un arrollado en forma de espiral sostenido de alguna forma en el medio cuya temperatura se desea, o bien colocado dentro de una caja que le sirve de protección.

El alambre metálico usado en la espiral debe tener un diámetro no mayor de 0,05 milímetros, preferiblemente 0,01 milímetro.

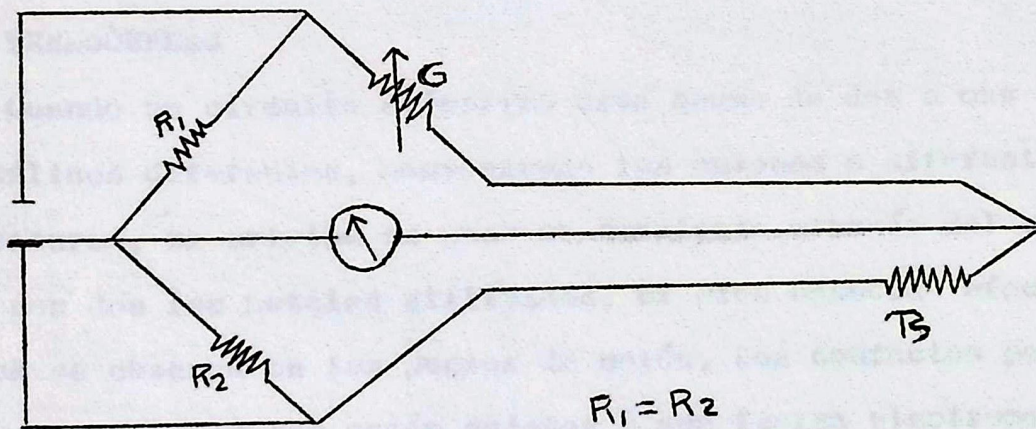
Un metro de alambre de platino a 0 °C de temperatura y de

de 0,01 milímetro de diámetro, tiene una resistencia de aproximadamente 15 ohms. Para la construcción del elemento sensible a las variaciones de la temperatura, podría usarse 5 metros de alambre de platino de este tipo, arrollados sobre un cilindro de mica de un centímetro de diámetro y diez centímetros de largo.

La precisión del termómetro de resistencia depende en gran parte a la precisión en la medida del circuito.

#### Medida de la resistencia

Para trabajos meteorológicos, el conocido puente de Wheatstone, es el sistema mas usado para medir la resistencia del arrollado metálico que ha de funcionar como termómetro. La forma generalmente usada como aparece la resistencia en el circuito puede observarse en la figura. El circuito debe estar construido por cables de un mismo metal; y además de una forma tal que una variación en la temperatura, que se manifiesta en una variación de la resistencia  $T_x$ , sea igualmente registrada en la resistencia en  $G$ . Para lograr la relación efectiva y hacer la calibración del instrumento, el circuito debe llevar las resistencias colocadas de tal forma que solamente el valor de la resistencia  $T_x$  sea registrada por el galvanómetro. La resistencia  $T_x$  es el arrollado en espiral del alambre y que hace las veces de termómetro. Para que ésto sea posible, la resistencia  $R_1$  ha de ser igual a la resistencia  $R_2$  y conectados en el circuito en la forma que indica la figura. Así se consigue que las variaciones en el Galvanómetro correspondan a las variaciones de la resistencia del arrollado del termómetro.



$$R_1 = R_2$$

La variación de la resistencia del platino con la temperatura, es de 4 % por grado centígrado. El níquel varía su resistencia en 7 % por grado centígrado. La calibración de la resistencia variable, es decir, la que va a permitir el registro de la temperatura, se hace en grados centígrados, mediante el factor de relación de la variación de la resistencia con la temperatura. Los termómetros de resistencia son los más usados cuando se quiere registrar temperaturas a distancia.

#### TERMOMETRO DE VARIACION DE LA F E M

#### TERMOCUPLAS

Cuando un circuito eléctrico está hecho de dos o más alambres metálicos diferentes, manteniendo las uniones a diferentes temperaturas, se origina un paso de corriente a través del circuito; si son dos los metales utilizados, el bien conocido efecto Seebeck se observa en los puntos de unión. Los contactos potenciales que se producen están sujetos a una fuerza electromotriz a diferencias de temperatura. La fuerza electromotriz total del circuito es proporcional a la diferencia de temperatura a que se encuentran los puntos de unión de los dos alambres.

La combinación de cobre y constantan muestra una variación de cerca de 40 microvoltios por grado centígrado de diferencia. Debe tenerse la precaución de mantener el sistema completo de medidas, incluyendo las conexiones de los cables, para que así sean registradas las variaciones de temperatura de los puntos de unión. Una de las uniones se mantiene a una temperatura constante, temperatura ésta que se ha de tomar como referencia. Así podría colocarse esta unión dentro de una mezcla de hielo fun-

dente; la otra unión se coloca en el medio cuya temperatura se desea determinar.

La relación entre la fuerza electromotriz y la temperatura, no es estrictamente lineal, sino que obedece a la forma:

$$E = a.t + b.t^2$$

En Meteorología, para los rangos de variación de la temperatura en los instrumentos de medida, como son las termocuplas, no se le da mucha importancia a esta relación cuadrática.

Una de las ventajas de las termocuplas, es su fácil construcción y el retardo es bastante corto, rara vez mayor que unos pocos segundos. El uso de termocuplas tiene importancia hoy día en la Higrometría. Para variaciones ordinarias de temperatura una cupla o par de unión de cobre y constantan nos indica la diferencia de temperatura sin mucho error.

Esta propiedad de la variación de la Fem con la temperatura se aprovecha para la medida del gradiente térmico vertical, especialmente con pares finos que no son muy sensibles a la radiación y pueden usarse sin ventilación artificial.

#### Medida de la fuerza electromotriz

La fuerza electromotriz del circuito puede ser medida:

1) Por medio de un potenciómetro, 2) por medio de un milivoltímetro. Los dos circuitos aparecen en la figura.

En la figura a,  $E_m$  es un elemento de batería o pila seca;  $E_s$  es una batería patrón. Cuando se quiere tomar una medida, se conecta  $E_m$  al circuito por medio del interruptor  $S_1$ ; luego se

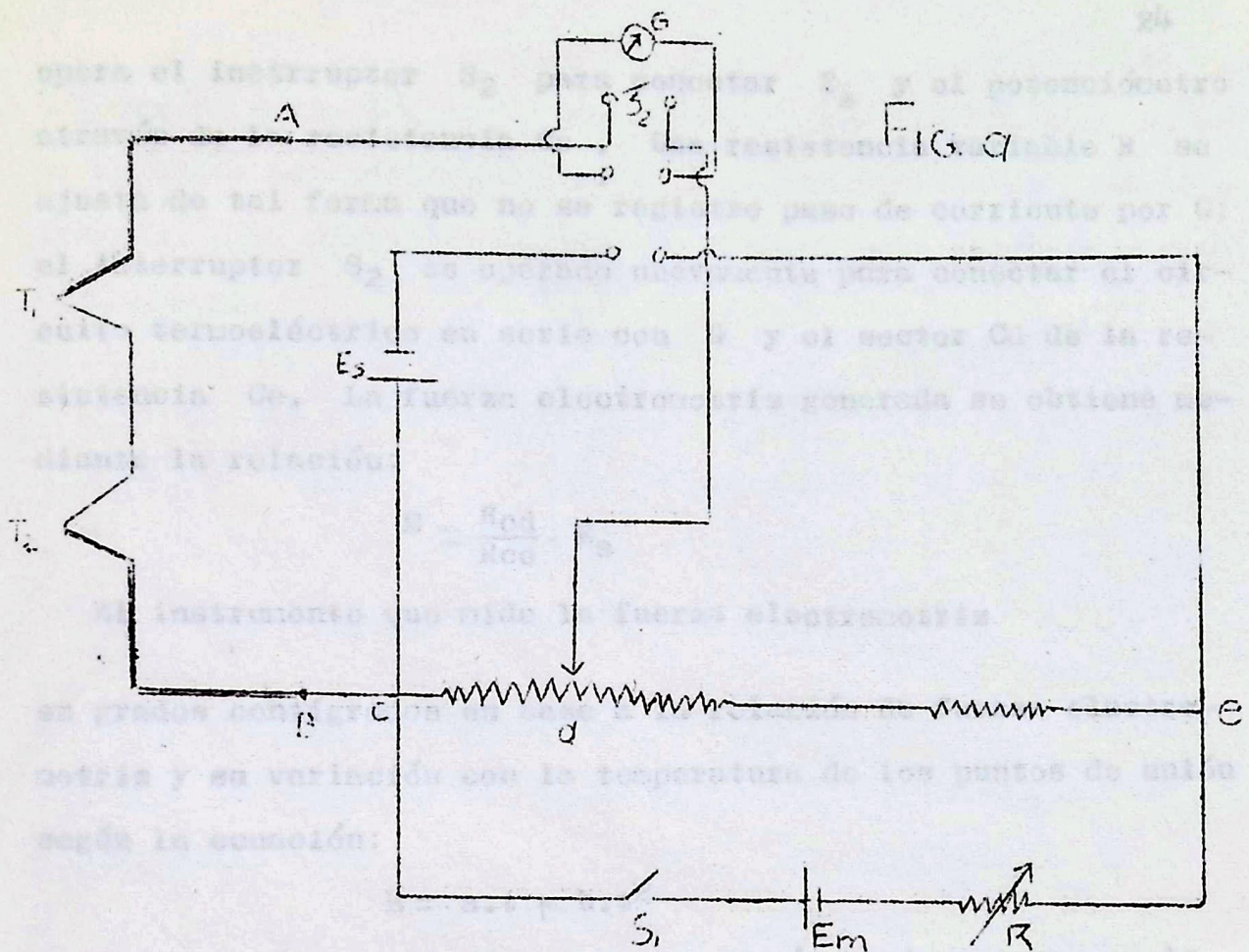


FIG. a

La calibración de este instrumento, según puede verse en la relación de  $F_{23}$ , es independiente de la resistencia del conductor y de la sensibilidad del potenciómetro.

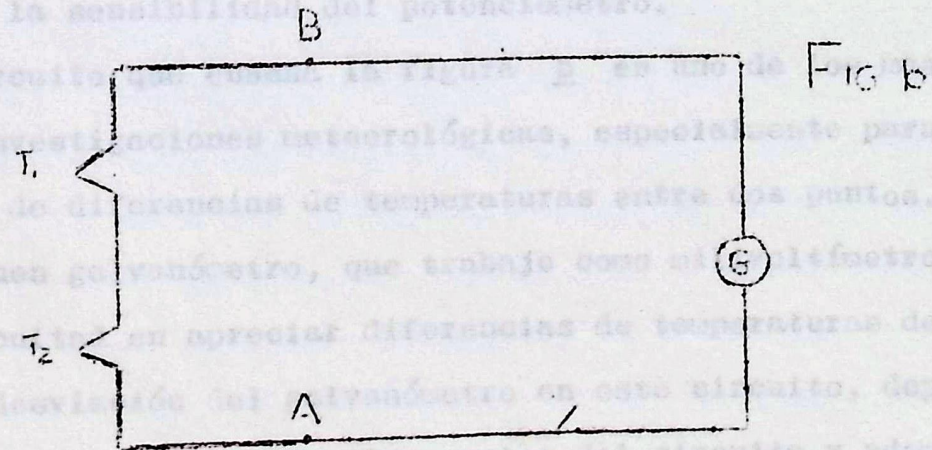


FIG. b

El circuito que se muestra en la figura 2 es adecuado en instalaciones meteorológicas, especialmente para la medición de diferencias de temperaturas entre los puntos.

Con un buen galvanómetro, que trabaje como potenciómetro, se puede apreciar diferencias de temperaturas de 0,01  $^{\circ}C$ . La desviación del galvanómetro en este punto, depende de la resistencia del conductor en los puntos A y B, de la sensibilidad del galvanómetro y de la sensibilidad del potenciómetro.

Como se dijo antes, en este sistema que se muestra en la figura 2, la relación de variación de la  $F_{23}$  respecto al potenciómetro es independiente de la resistencia del conductor y de la sensibilidad del potenciómetro.

opera el interruptor  $S_2$  para conectar  $E_s$  y el potenciómetro a través de la resistencia  $C_e$ . Una resistencia variable  $R$  se ajusta de tal forma que no se registre paso de corriente por  $G$ ; el interruptor  $S_2$  es operado nuevamente para conectar el circuito termoeléctrico en serie con  $G$  y el sector  $C_d$  de la resistencia  $C_e$ . La fuerza electromotriz generada se obtiene mediante la relación:

$$E = \frac{R_{cd}}{R_{ce}} \cdot E_s$$

El instrumento que mide la fuerza electromotriz

en grados centígrados en base a la relación de fuerza electromotriz y su variación con la temperatura de los puntos de unión según la ecuación:

$$E = a \cdot t + b \cdot t^2$$

La calibración de este instrumento, según puede notarse en la relación de FEM, es independiente de la resistencia del conductor y de la sensibilidad del potenciómetro.

El circuito que enseña la figura b es uno de los más usados en investigaciones meteorológicas, especialmente para la indicación de diferencias de temperaturas entre dos puntos.

Con un buen galvanómetro, que trabaje como milivoltímetro, no hay dificultad en apreciar diferencias de temperaturas de 0,01 °C. La desviación del galvanómetro en este circuito, depende de la resistencia de todas las partes del circuito y además de la sensibilidad

Como se dijo antes, no debe asumirse que la relación de variación de la FEM registrada por la desviación del galvanóme-

tro con la variación de la temperatura entre las uniones, es una relación estrictamente lineal. El galvanómetro debe ser calibrado para distintas temperaturas dentro del rango de variación normal.

La atmósfera

La atmósfera es la capa gaseosa que rodea a la tierra y que la acompaña en sus movimientos. Está constituida por aire seco y una serie de elementos, algunos de proporción constante y otros de proporción variable. Los elementos constantes que forman la parte de aire, son el hidrógeno, el oxígeno, el nitrógeno y el oxígeno en proporción variable, también como gases raros como el anhídrido carbónico, hidrógeno, vapor de agua, etc., en proporciones muy pequeñas. Presenta también una proporción variable, ya sea en estado de vapor, líquido, así como también en la forma sólida.

Presión atmosférica

La atmósfera, como cuerpo material, tiene peso. Este peso actúa sobre las capas superiores ejerciendo sobre las capas inferiores, una fuerza que actúa sobre la superficie de la tierra y sobre todos los cuerpos que se hallan sobre ella. Esta fuerza ejercida por la atmósfera sobre la superficie de la tierra, es lo que se llama presión atmosférica. La presión atmosférica es una fuerza que actúa sobre la superficie de la tierra y sobre todos los cuerpos que se hallan sobre ella. Esta fuerza ejercida por la atmósfera sobre la superficie de la tierra, es lo que se llama presión atmosférica. La presión atmosférica es una fuerza que actúa sobre la superficie de la tierra y sobre todos los cuerpos que se hallan sobre ella. Esta fuerza ejercida por la atmósfera sobre la superficie de la tierra, es lo que se llama presión atmosférica.

## LA ATMOSFERA

## PRESION ATMOSFERICA

## INSTRUMENTOS

La atmósfera

La atmósfera es la capa gaseosa que rodea a la tierra y que la acompaña en sus movimientos. Está constituida por aire seco y una serie de elementos, algunos de proporción estable, otros de proporción variable. Los elementos constantes que forman la mezcla de aire, son el Nitrógeno, en mayor proporción, y el oxígeno en menor proporción. Además en esta mezcla se encuentran gases como el anhídrido carbónico, helio, radón, kriptón etc, en proporciones muy pequeñas. Presenta también agua, en proporción variable, ya sea en estado de vapor, líquido, así como también en la forma sólida.

## PRESION ATMOSFERICA

La atmósfera, como cuerpo material, tiene peso. Este peso hace que las capas superiores ejerzan sobre las capas inferiores, una fuerza que actúa sobre la superficie de la tierra y sobre todos los cuerpos que se hallan sobre ella. Esa fuerza ejercida por la atmósfera sobre la superficie de la tierra, es lo que recibe el nombre de presión atmosférica. Podemos ahora simplificar y no obstante ello concretar la definición anterior diciendo que la presión atmosférica equivale al peso que tiene una columna de aire que actúa sobre la unidad de superficie de un lugar. Es evidente que la presión máxima que ejerce la atmósfera se encuentra al nivel del mar, decreciendo a medida que se

asciende.

La presión es función de la densidad del aire; de la altura y del valor de la aceleración de la gravedad del lugar:

$$P = \rho g \cdot h$$

El gradiente altobárico expresa el cambio de la presión con la altura:

Partiendo de la ecuación del gradiente de presión, podemos llegar a la fórmula barométrica tal como se usa en Meteorología:

$$-\frac{dP}{dh} = \rho \cdot g \quad g \cdot dh = -\frac{1}{\rho} dP \quad \rho = \frac{P}{R \cdot \bar{T}_v}$$

$$g dh = -R \cdot \bar{T}_v \frac{dP}{P}$$

$$g \Delta h = R \cdot \bar{T}_v \ln \frac{P_1}{P_2}$$

$\bar{T}_v$  temperatura media virtual

$R$  constante para el aire seco

#### EXPERIENCIA DE TORRICELLI

Le tocó a Torricelli, físico italiano ( 1643 ) demostrar la existencia de la presión atmosférica. Para ello tomó un tubo de vidrio , lo llenó con mercurio, luego mediante un dedo impidió la salida del mercurio al invertirlo y colocarlo dentro de un depósito de mercurio; notó luego que el nivel del mercurio en el tubo, después de invertirlo y colocarlo dentro del recipiente, no descendía mas de los 76 centímetros por encima de la superficie libre de mercurio en el depósito. Con esta experiencia, Torricelli aseveró que la columna

na de mercurio se mantenía en ese nivel, debido a la presión que ejerce el aire sobre la superficie del mercurio y que esta presión equilibra el peso de la columna dentro del tubo.

Los instrumentos que sirven para medir la presión atmosférica reciben el nombre de barómetros. Estos instrumentos se construyen en base a la experiencia de Torricelli; en base a propiedades elásticas de una membrana metálica, otros; así como también tomando en cuenta la variación del punto de ebullición del agua destilada con la presión.

#### UNIDADES USUALES DE LA MEDIDA DE LA PRESION

La primera unidad de medida de la presión atmosférica fue el milímetro, o también la pulgada de mercurio, que es una unidad relativa de presión. Posteriormente se adoptó en Meteorología una unidad real de presión, como lo es el milibar, que equivale a la presión ejercida por una fuerza de 1000 dinas por centímetro cuadrado. Un milibar quivale a la presión de una columna de mercurio de 0,750096 milímetros; y una columna de 760 milímetros de presión, lo que se llama una atmósfera, equivale a 1013,3 milibares.

#### CLASIFICACION DE LOS BAROMETROS

En base a la experiencia de Torricelli y a propiedades físicas de algunas sustancias que varían sus características con la presión, existen tres clases de instrumentos destinados a medir la presión atmosférica:

1.- Barómetros de mercurio, basados en la experiencia de To-

rricelli. Las razones que llevaron a utilizar el mercurio como líquido barométrico, son las siguientes:

- a) presión de vapor del mercurio muy pequeña
- b) Su peso específico 13,6 veces mayor que el peso específico del agua, lográndose así que la columna de mercurio tenga una longitud conveniente
- c) Es un fluido fácilmente limpiable y purificable
- d) No humedece las paredes del tubo; presenta un menisco convexo pudiéndose apreciar su posición con facilidad

Un barómetro de mercurio consiste, fundamentalmente, en un tubo vertical de vidrio y de un depósito. De acuerdo con las formas y secciones del tubo y del depósito, se adoptan diferentes métodos de operar el instrumento. Si la sección transversal del tubo y la sección del depósito, o rama abierta al exterior no son uniformes, cuando tiene lugar un cambio en la presión atmosférica, no solamente se observará variación en el nivel del tubo, sino que también ocurre un desnivel en la otra rama. Estos son los barómetros de cubeta. Si la sección del tubo y de la rama abierta al exterior son uniformes, la razón de movimiento en las dos ramas será una constante, para un dado cambio en la presión.

#### PRINCIPIO DE LOS BAROMETROS ANEROIDES

La propiedad elástica de una delgada membrana metálica sirve de base en la construcción del elemento sensible de los barómetros aneroides. Si se construye una cápsula con dos membranas metálicas soldadas por sus bordes, de tal manera que sirva como

cámara sin aire en su interior o con una pequeña cantidad de gas inerte, la presión que se ejerce bien por su cara interior o exterior, tratará de separar o juntar las caras circulares de la cápsula, aprovechándose este movimiento como una medida de la presión y sus variaciones.

### PRINCIPIO DE LOS HIPSONETROS

El punto de ebullición de un líquido es la temperatura a la cual la presión de su vapor se equilibra con la presión exterior

La relación entre la presión de vapor y la temperatura, sigue la ley de Clapeyron:

$$\frac{de_s}{e_s} = \frac{L_v}{R^*} \frac{dT}{T}$$

pero como la temperatura crítica del punto de ebullición es tal que la presión de vapor se hace igual a la presión exterior, podemos establecer:

$$\frac{dp}{p} = \frac{L_v}{R^*} \frac{dT}{T}$$

$L_v$  calor latente de vaporización

$R^*$  constante universal de los gases

$T$  temperatura absoluta del punto de ebullición

### DISTINTOS TIPOS DE BAROMETROS DE MERCURIO

Los barómetros de mercurio según la sección de sus ramas, pueden ser:

Barómetros con dos ramas de secciones iguales

Barómetros con dos ramas de secciones diferentes

Los barómetros con dos ramas de sección igual son los que se conocen como barómetros de sifón. Existen dos tipos principales:

1.- Normal

2.- Fuess

Los barómetros con ramas de sección diferente, son los que se conocen como barómetros de cubeta:

1.- De cubeta y escala fijas

2.- De cubeta móvil

3.- De escala móvil, cubeta fija

El barómetro de sifón es un instrumento patrón. Presenta la característica de tener las secciones de las dos ramas, iguales. Presentan una cámara adosada que permite variar los niveles en las ramas. Lleva un recipiente recubierto por su parte interior por una gazuza, la cual sirve de asiento al mercurio, y mediante un tornillo puede variarse el volumen dentro del depósito, y en consecuencia los niveles de mercurio en las dos ramas. Presenta en un caso una escala común donde se hacen las lecturas de los niveles de mercurio, o en otro caso, presenta una escala y un vernier en cada rama. El valor de la presión se obtiene por la diferencia entre niveles.

#### MANERA DE OPERAR EL INSTRUMENTO

1.- Mediante el tornillo se acciona la cubierta del depósito dando dos niveles cualquiera en las ramas

2.- Se engrasa el vernier con el menisco inferior; se hace lo mismo con el menisco superior

3.- Se toman las dos lecturas en escala y vernier. El valor

de la presión será función de la diferencia entre las dos lecturas.

El barómetro de sifón tipo Normal se diferencia del tipo Fuess en el sistema de hacer el vacío. La exactitud y precisión de las lecturas dependen en alto grado del vacío logrado en el extremo cerrado. El barómetro de sifón Normal tiene un sistema especial para hacer el vacío.

#### BAROMETROS DE CUBETA

El barómetro de escala fija y escala fija, tipo Kew es el que principalmente se utiliza en Meteorología. Consta de un tubo de vidrio de un diámetro interior pequeño en relación con el diámetro interior de la cubeta metálica. Además lleva un termómetro que permite conocer la temperatura del instrumento en el momento en que se hace la observación de la presión. El tubo de vidrio está protegido mediante una camisa metálica fija a la cubeta por su pared superior. El tubo de vidrio se ajusta perfectamente mediante anillos. En la parte superior de la envoltura metálica lleva una ventanilla vertical y en esta parte el tubo presenta un ensanchamiento y por último en el extremo superior el tubo presenta un diámetro mayor que permite colocar un tubo que actúa como un sifón cuya función es evitar que el aire que penetra por la base pueda afectar la región de vacío del tubo. En la pared superior, la cubeta lleva dos huecos cubiertos por filtros que no entorpecen la entrada del aire y evitan que el mercurio pueda ensuciarse por impurezas del aire. En el extremo opuesto de la ventanilla que permite ver el tope de la co-

lumna y el desplazamiento del vernier, va otra ventanilla que permite las condiciones para hacer la observación. El vernier es accionado por un tornillo visible desde afuera que va fijo a la camisa metálica. La escala, grabada a los lados de la ventanilla, se encuentra protegida por medio de un cilindro de vidrio. El termómetro de mercurio en vidrio va fijo a un soporte metálico, tiene un bulbo cilíndrico y se encuentra protegido contra la radiación.

#### FORMAS DE OPERAR EL INSTRUMENTO

- 1.- Se hace la lectura del termómetro
- 2.- Se golpea suavemente con los dedos la parte superior cerca al tope de la columna, y en la parte inferior, cerca a la cubeta; procurando con ésto que el menisco adopte la forma mas estable posible para el momento de hacer la lectura.
- 3.- Iluminación de la escala
- 4.- Mediante el tornillo, hacer el engrase del vernier
- 5.- Lectura de la escala
- 6.- Anotar las lecturas para luego hacer las correcciones necesarias con tablas de corrección del instrumento.

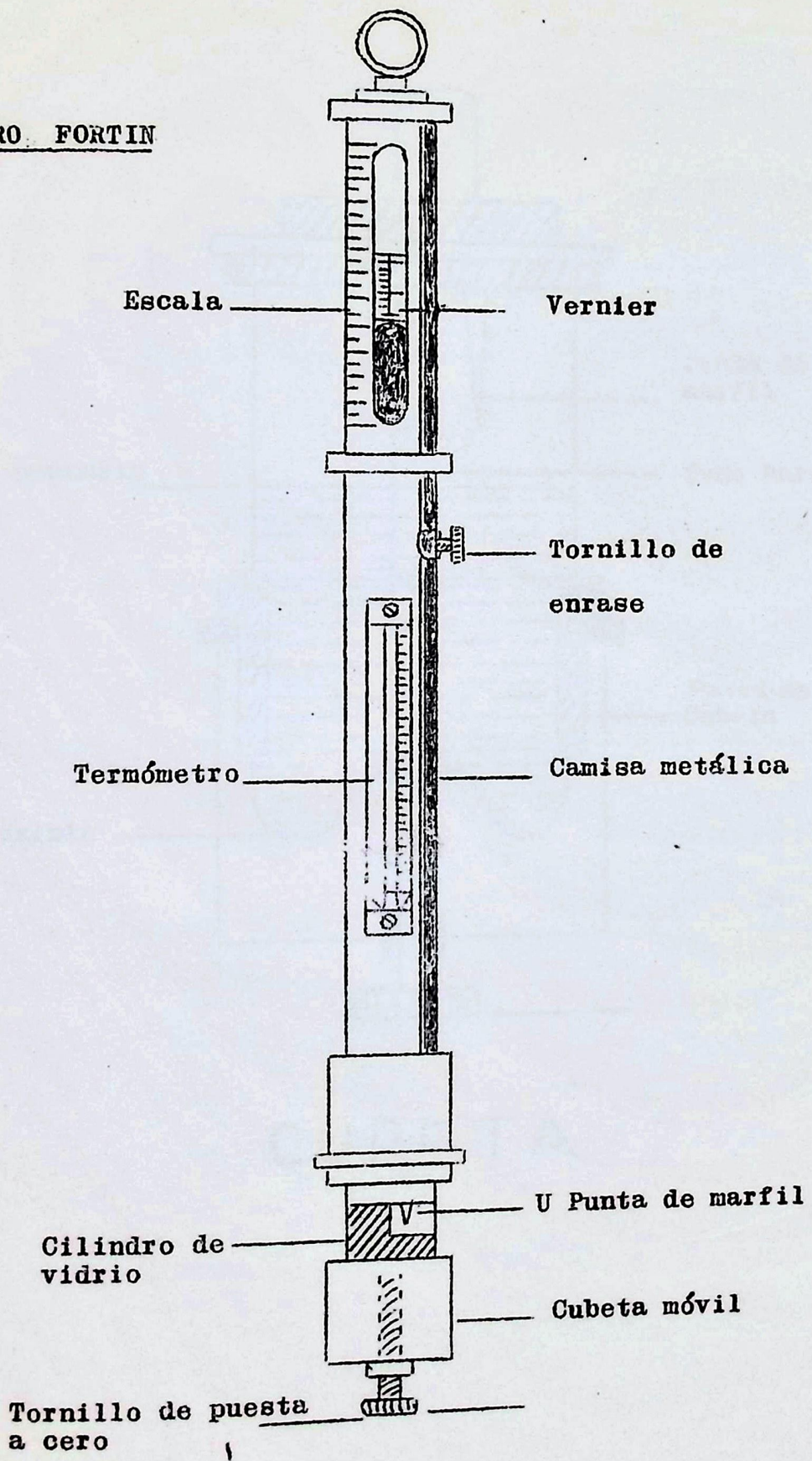
#### BAROMETRO DE CUBETA MOVIL

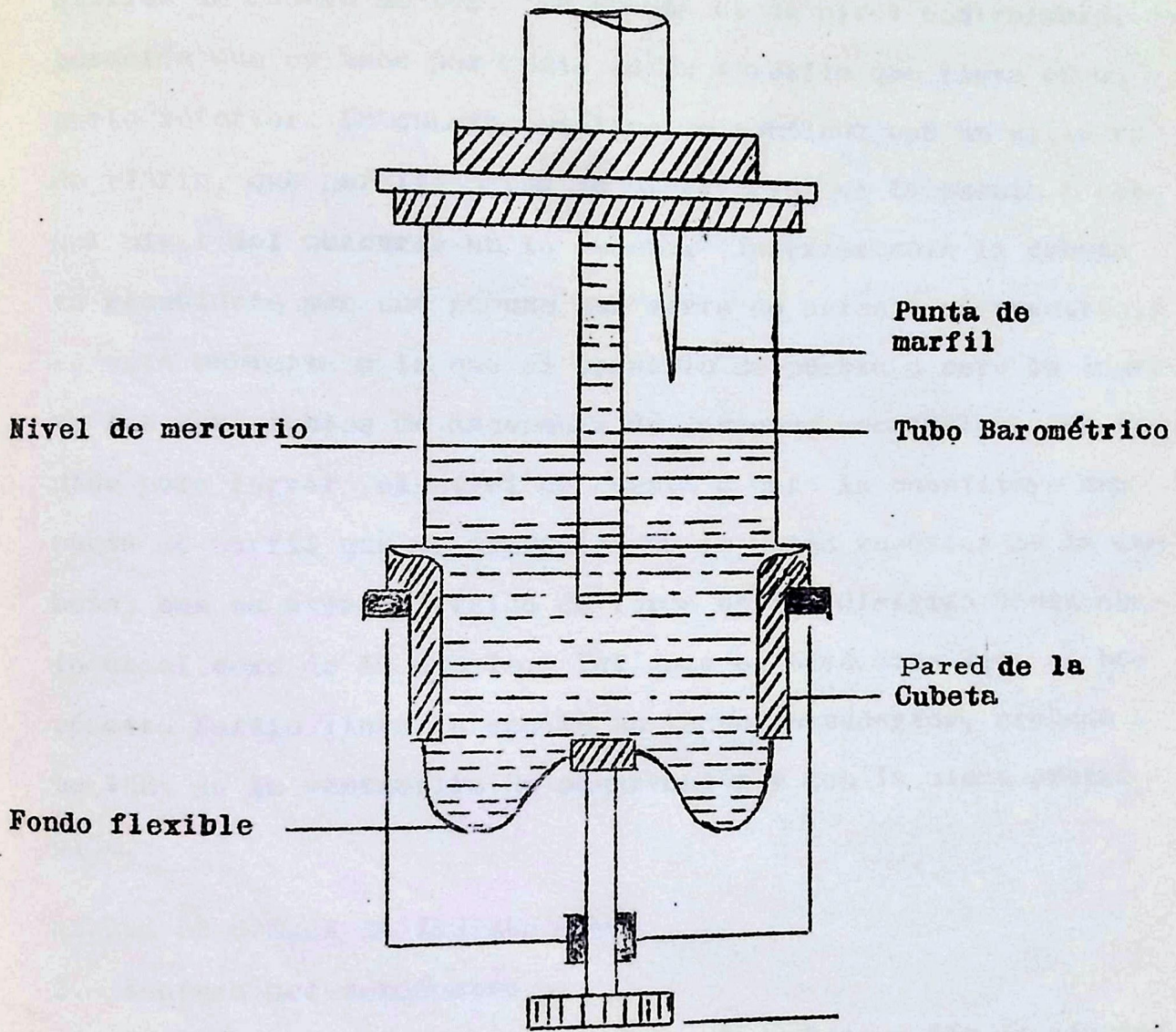
##### BAROMETRO FORTIN

La diferencia fundamental entre el barómetro Fortin y el tipo Kew consiste en que el nivel del mercurio en la cubeta es ajustado a un punto de referencia cada vez que se ha de hacer una observación. Este nivel de referencia es el cero de la escala.

El tubo barométrico penetra en la cubeta, ajustado mediante

BAROMETRO FORTIN





CUBETA

anillos de madera de box. La cubeta es de nivel controlable, operación que se hace por medio de un tornillo que lleva en su parte inferior. La cubeta metálica se continúa con un cilindro de vidrio, que permite hacer la observación de la puesta a cero del nivel del mercurio en la cubeta. Interiormente la cubeta va recubierta por una gamuza que sirve de asiento al mercurio, y es esta cubierta a la que el tornillo de puesta a cero le imprime los movimientos de ascenso o de descenso necesarios. El índice para lograr el nivel de puesta a cero lo constituye una punta de marfil que se encuentra en la pared superior de la cubeta, con su extremo rígido de forma cónica dirigido hacia abajo es el cero de la escala. Tal como el barómetro Kew, el barómetro Fortin lleva la escala en la parte superior, grabada a un lado de la ventanilla de observación y con la misma protección.

#### MANERA DE OPERAR EL INSTRUMENTO

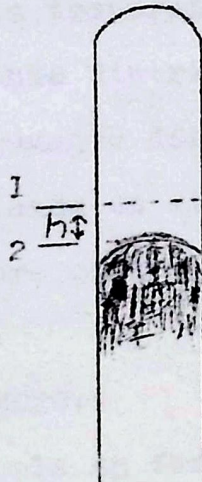
- 1.- Lectura del termómetro
- 2.- Accionar el tornillo inferior de la cubeta a fin de ajustar el nivel del mercurio en la cubeta al cero de la escala
- 3.- Hacer la coincidencia entre el vernier y el menisco de la columna de mercurio
- 4.- Hacer la lectura de la escala y vernier
- 5.- Correcciones

#### ERRORES EN LOS BAROMETROS DE MERCURIO

Error por capilaridad

En la superficie convexa del tope de la columna de mercurio actúa la tensión superficial del fluido. Es una fuerza que tiene lugar sobre la superficie de contacto del mercurio con la pared del tubo de vidrio. Esta fuerza está dirigida hacia abajo formando un cierto ángulo con la dirección de la horizontal. La tensión superficial hace que el nivel o tope de la columna adopte una posición por debajo de la que adotaría ese nivel si no existiera esa retracción. El espacio entre la posición (1) y la posición (2) de la figura es lo que se conoce como depresión capilar, que guarda relación inversa con el diámetro interior del tubo

$$h = f(1/D)$$



## ERROR POR DEFECTOS EN HACER EL VACIO

Serios errores puede producir un vacío defectuoso en el espacio por encima de la columna de mercurio. La fuente de error sería la presencia en dicho espacio de agua en forma de vapor o de aire.

## ERROR POR FALTA DE VERTICALIDAD

Son normalmente pequeños, pero no siempre hay que despreciarlos. El barómetro debe mantenerse en una posición tal que su eje coincida lo mayormente posible con la vertical del lugar. El error por falta de verticalidad es importante en los barómetros de sifón ya que las lecturas se hacen en las dos ramas y cuanto mas separados se encuentren los niveles, mayor es el error que se comete por falta de verticalidad.

## ERROR DEBIDO A LA DESIGUAL DISTRIBUCION DE LA TEMPERATURA DEL BAROMETRO:

Puede suceder que la temperatura a lo largo de todo el instrumento no esté uniformemente distribuida. Sucede que la cubeta y la parte superior del instrumento difieran en su temperatura, a causa de encontrarse estratificada en el ambiente que rodea el instrumento. Esto crea incertidumbre cuando se va hacer la corrección de la lectura por temperatura.

## ERROR DEBIDO AL VIENTO:

Cuando el viento sopla en forma de ráfagas, el barómetro no dará una lectura correcta de la presión estática, pues la irregularidad en la velocidad del viento provoca fluctuaciones en la indicación de la presión.

## ERROR DEBIDO A MOVIMIENTOS:

Cualquier movimiento, que afecte al barómetro en el preciso ins-

tante en que se va hacer la lectura, introducirá un error pues provoca desplazamientos en la posición del menisco, por lo que la lectura que se haga no será exactamente la que se registraba en el momento.

#### ERROR DE INSTRUMENTAL:

Es un error debido a imperfecciones en la construcción y ajuste original del barómetro. Estos errores y sus correcciones vienen del laboratorio especificados en una hoja que trae el instrumento.

#### CORRECCION DE LECTURA

La presión que ejerce una columna de mercurio depende, después de su peso, de la densidad del mercurio, así como también del valor de la aceleración de la gravedad del lugar.

En el primer caso, como la presión exterior que equilibra el peso de la columna de mercurio, se logra mediante la observación de una escala, su longitud está sujeta a variaciones por efectos de la temperatura.

Se hace necesaria una corrección por temperatura y al valor de la aceleración de la gravedad del lugar, pues los barómetros vienen calibrados para darnos una medida correcta de la presión, para una cierta temperatura y para un valor de la aceleración de la gravedad fijado por la Organización Mundial de Meteorología en  $980,62 \text{ cm/seg.}^2$ . Luego para cada instrumento se requiere una corrección por los dos factores antes mencionados cuando se trabaja en estaciones cuyos valores de temperatura y gravedad difieren de los de calibración del instrumento. Para hacer las respectivas correcciones existen tablas elaboradas en base a las características del instrumento y de los factores que afectan la correcta lectura de la presión.

## REDUCCION DE LA PRESION A UN NIVEL DE REFERENCIA

Luego de obtenidas la lectura del barómetro y después de hacer las correcciones correspondientes, se hace necesario deducir el gradiente de presión entre dos lugares a diferentes niveles. La presión es comunmente reducida a un nivel fijo de referencia, usualmente el nivel del mar.

Esta reducción consiste en sumar a la presión de la estación, la presión debida al peso de una columna vertical hipotética de aire equivalente en longitud al peso desde la cubeta del barómetro por encima del nivel de referencia.

Este gradiente de presión queda determinado por la aceleración de la gravedad del lugar y la densidad del aire:

$$\frac{dp}{dz} = \rho g. \quad (\text{mb/m})$$

Como ejemplo tenemos: una densidad del aire en Caracas

$$\rho = 1,11 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

y para una aceleración de  $980 \text{ cm/seg}^2$ , obtendremos el valor del gradiente:

$$\frac{dp}{dz} = 980 \times 1,11 \times 10^{-3} \frac{\text{dina}}{\text{cm}^2 \cdot \text{cm}} = 0,109 \frac{\text{mb}}{\text{m}}$$

Este valor multiplicado por el N° de metros a que se encuentra la estación sobre el nivel del mar, sumado a la presión en la estación nos dará la presión referida a ese nivel.

## BAROMETRO ANEROIDE

El elemento sensible es la cápsula aneroide. Las deformaciones de la cápsula, debido a variaciones de la presión son amplificadas y transmitidas por el sistema de palancas a un órgano inscriptor que hace el registro de la presión en una banda donde viene grabada la escala.

La cápsula aneroide es el elemento sensible de instrumento de altura llamado Altímetro, en el cual el sistema de transmisión termina en un indicador que se mueve sobre un cuadrante en el cual se encuentra grabada la escala de presión y de altura. La correspondencia de medidas de presión con la altura se hace conocido el gradiente de presión.

El material comunmente utilizado en la construcción del elemento sensible es el cobre-berilio, el bronce fosforado o el acero.

### FUENTES DE ERROR EN LOS BAROMETROS ANEROIDES

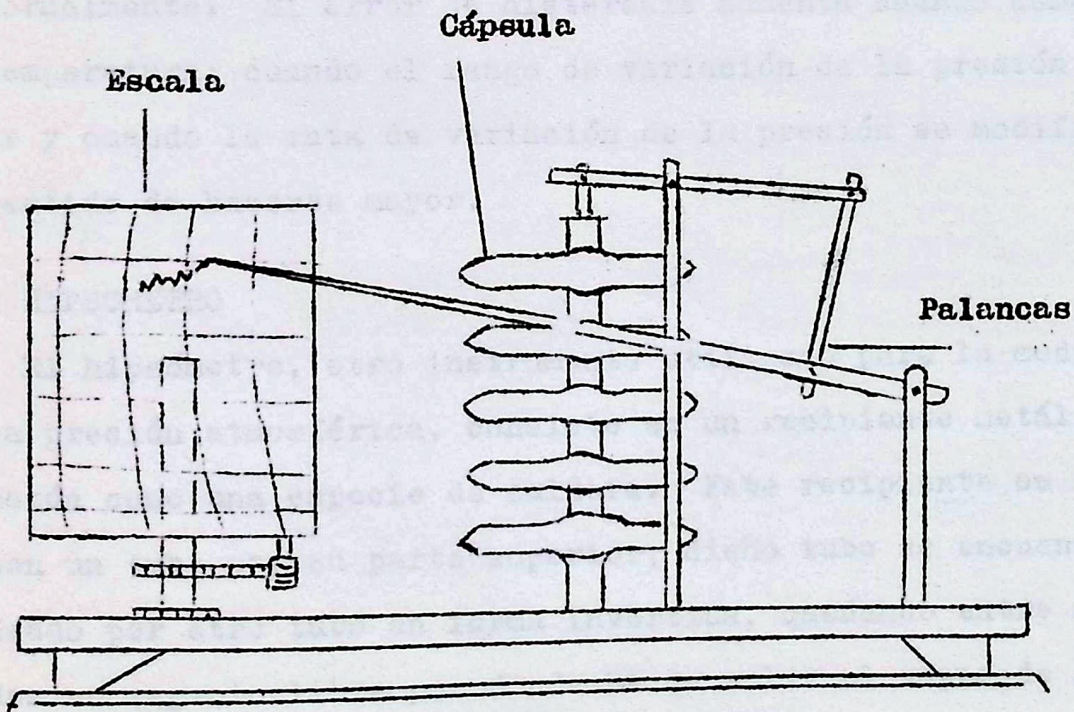
#### 1.- Error debido a cambios de temperatura

El elemento sensible tiene su fundamento en la propiedad elástica de la cápsula y del resorte interior.

Las deformaciones de la cápsula dependen del valor del módulo de Young o del módulo de rigidez del material con que esos elementos se construyen, y es sabido que estos materiales varían sus formas con la temperatura. Si un aumento de temperatura tiene lugar, se origina un aumento aparente en la lectura de la presión. Este error puede compensarse introduciendo un elemento bimetálico en el sistema amplificador del instrumento; o bien colocando cierta cantidad de gas inerte en el interior de la cápsula.

2.- Error de histeresis

Si un aneroides se somete a un ciclo de variación de la presión, se nota que las deflexiones del aneroides para un dado ciclo de variación de la presión, difieren cuando se registra el aumento y cuando la presión varía a la baja. Si ese ciclo de variación, por ejemplo cuando va de 1000 milímetros y luego baja a 400 milímetros, se repite en un corto período, se nota un retraso en un promedio las deflexiones cuando se invierte el ciclo, pero al cabo de un tiempo fijo estas inversiones responden normalmente. El error de histeresis cuando se registra la



ESQUEMA DE BAROGRAFO ANEROIDE

se origina en la cadera. Por la parte superior del instrumento se emite un haz de luz que al pasar por un orificio en un cilindro de vidrio se proyecta sobre una escala de milímetros. Al aplicar un valor de presión, el cono de luz se desvía en un cierto ángulo que depende de la presión. Al variar la presión, el cono de luz se desvía en un ángulo diferente. El espacio entre el cono de luz y la escala...

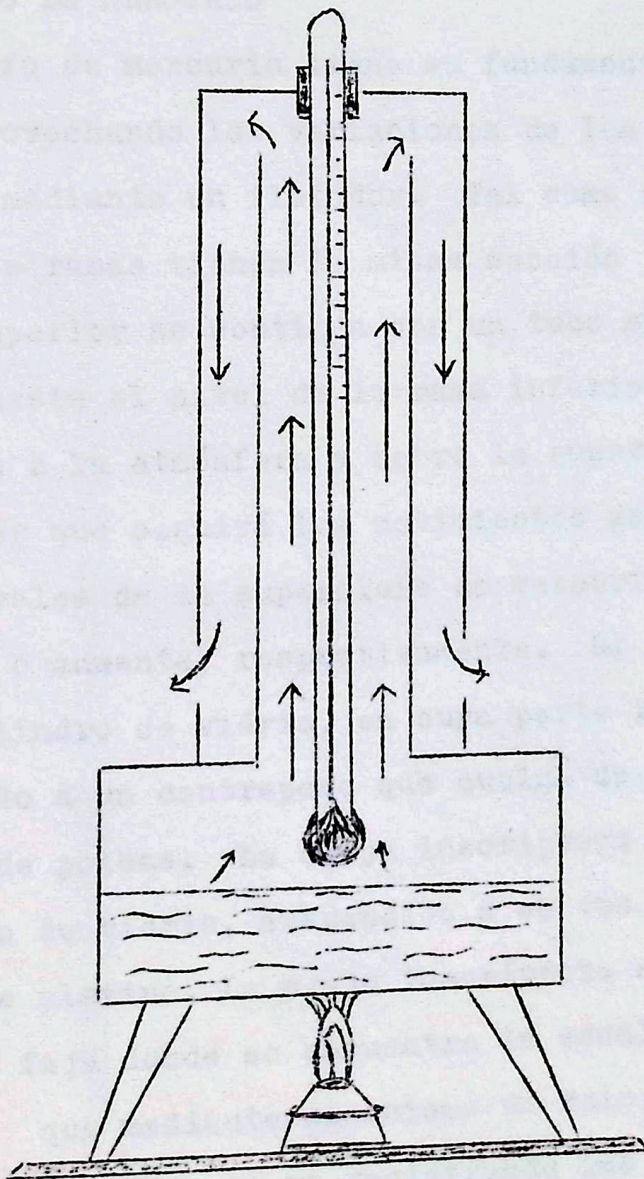
## 2.- Error de histeresis

Si un aneroides se somete a un ciclo de variación de la presión, se nota que las deflexiones del aneroides para un dado ciclo de variación de la presión, difieren cuando se registra el aumento y cuando la presión empieza a caer. Si ese ciclo de variación, por ejemplo cuando va de 1000 milibares y luego baja a 400 milibares, se repite en un corto período, se nota un retraso en presentarse las deformaciones cuando se invierte el ciclo, pero al cabo de un cierto tiempo estas inversiones responden normalmente. El error de histeresis aumenta cuando aumenta la temperatura; cuando el rango de variación de la presión es grande y cuando la rata de variación de la presión se modifica en sentido de hacerse mayor.

## HIPSOMETRO

El hipsómetro, otro instrumento utilizado para la medida de la presión atmosférica, consiste en un recipiente metálico, que actúa como una especie de caldera. Este recipiente se continúa con un tubo por su parte superior, dicho tubo se encuentra bordeado por otro tubo en forma invertida, quedando entre sus paredes un espacio libre por donde ha de salir el vapor de agua que se origina en la caldera. Por la parte superior del instrumento penetra un termómetro, el cual puede ser calibrado en unidades de presión.

Al aplicarle calor al recipiente, el cual se llena hasta un cierto nivel con agua destilada, el vapor que se origina baña completamente al termómetro, antes de su salida al exterior por el espacio entre las paredes de los dos tubos.

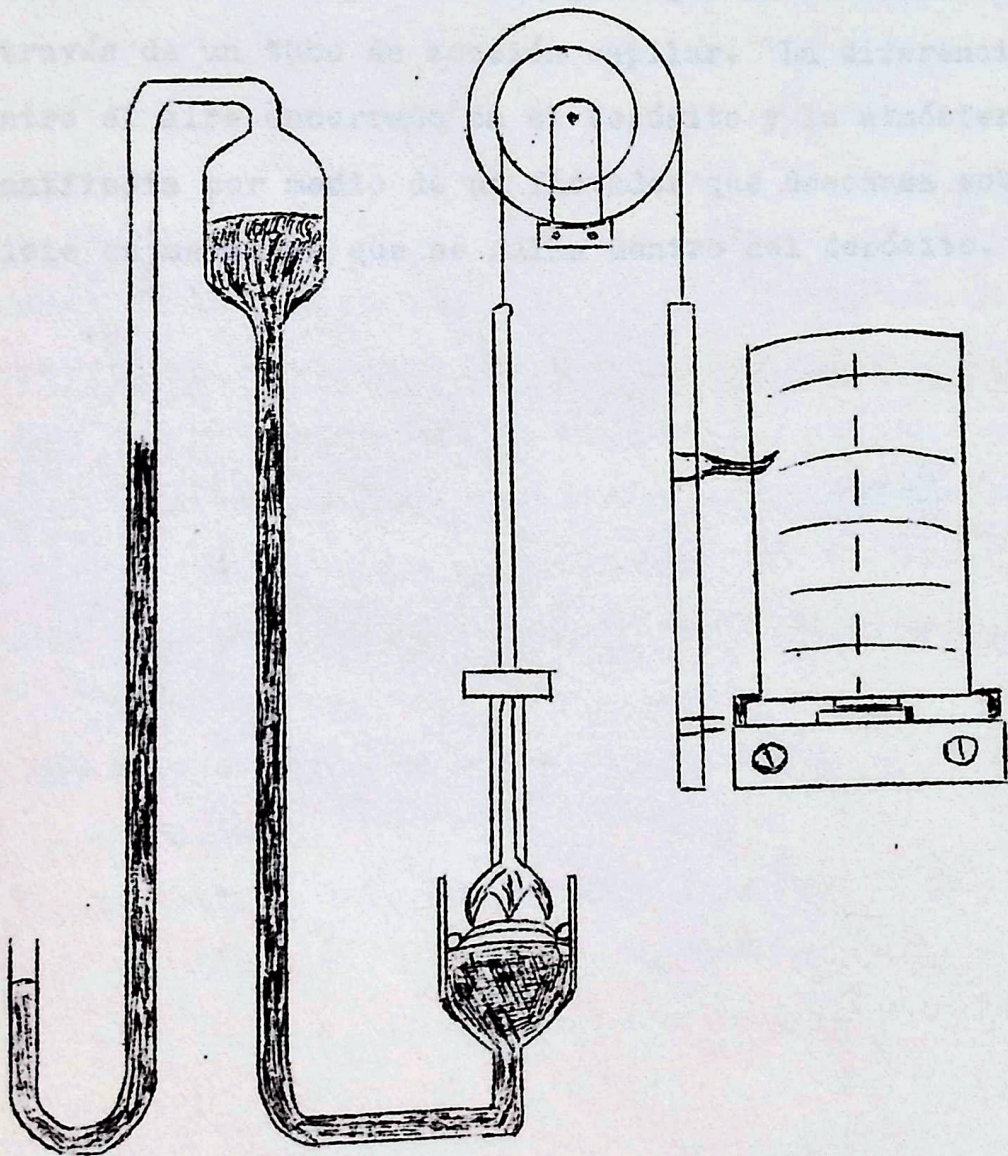


HIPSOMETRO  
Corte Esquemático

El hipsómetro presenta la ventaja de poderse transportar con facilidad, cosa que se hace difícil en los barómetros de mercurio. También presenta una conveniente característica de que a medida que se asciende y con ello la presión disminuye, la sensibilidad del instrumento aumenta.

#### BAROGRAFO DE MERCURIO

El barógrafo de mercurio tiene su fundamento en un barómetro de sifón, aprovechando las variaciones de los niveles en una de las ramas mediante un flotador. Tal como en el barómetro de sifón las dos ramas tienen la misma sección transversal interior. La rama superior se continúa con un tubo en forma de U que se extiende hasta el nivel de la rama inferior. La rama inferior es abierta a la atmósfera y sobre la superficie del mercurio va el flotador que seguirá los movimientos ascendente o descendente de los niveles de la superficie de mercurio cuando la presión disminuya o aumente, respectivamente. El flotador se continúa con un cilindro de vidrio, en cuya parte interior va un tubo de acero unido a un contrapeso que cuelga de un hilo de platino a un par de poleas. La aguja inscriptora va unida a un tubo cilíndrico de vidrio, suspendido a su vez mediante dos hilos de alambre de platino. La aguja inscriptora se desliza suavemente sobre una faja donde se encuentra la escala, la cual va sobre un tambor que mediante mecanismo de relojería da las vueltas necesarias mientras se va registrando las variaciones de la presión



BAROGRAFO DE MERCURIO

MICROBAROGRAFO

Es un instrumento registrador de las variaciones de la presión atmosférica, con un sistema de amplificación que hace posible el registro de pequeñas variaciones de la misma. Consiste, esencialmente en un depósito alargado que se comunica con el exterior a través de un tubo de sección capilar. La diferencia de presión entre el aire encerrado en el depósito y la atmósfera se hace manifiesta por medio de un flotador que descansa sobre la superficie de mercurio que se halla dentro del depósito.

## HUMEDAD ATMOSFERICA

## INSTRUMENTOS DE MEDICION

El agua, en forma de vapor, forma parte de los componentes de la atmósfera, como consecuencia de la evaporación que tiene lugar en la superficie de la tierra y de la evapotranspiración. La presencia de vapor de agua, como componente de proporción variable tiene importancia en la caracterización de la atmósfera.

La cantidad de vapor de agua que contiene la atmósfera, es función de la temperatura. El aire, a determinada temperatura posee una cierta capacidad de retención del vapor de agua; a medida que la temperatura se va incrementando, esa capacidad de retención se va haciendo cada vez mayor, hasta que se llega a un cierto límite en que se agota ese poder de retención de vapor de agua por parte del aire, y es cuando se dice que el aire se encuentra saturado.

Hay varias formas de expresar el contenido de vapor de agua en la atmósfera:

1.- Mediante la relación de mezcla, que no es mas que la relación que hay entre la masa de vapor de agua,  $m_v$ , y la masa de aire seco,  $m_a$ , con la cual ese vapor se halla mezclado:

$$r = \frac{m_v}{m_a}$$

2.- La humedad específica, que es la razón,  $q$ , de la masa del vapor de agua, a la masa total: aire seco mas vapor:

$$q = \frac{m_v}{m_v + m_a} = \frac{r}{1 + r}$$

### 3.- Presión de vapor:

Al igual que los demás gases que se encuentran presentes en la atmósfera, el vapor de agua ejerce una presión parcial; esta presión parcial se conoce como la presión de vapor del agua, la cual se ha simbolizado con la letra e. Para fines meteorológicos, esta presión de vapor del agua puede considerarse independientemente de la presencia o ausencia de los demás gases.

Experimentalmente se encontró, que si en un espacio cerrado que se mantiene a una temperatura constante, se introduce un recipiente que contiene agua pura, la presión de vapor dentro del espacio cerrado aumenta en la medida en que la superficie de agua va cediendo vapor; llegado un momento alcanza su valor máximo, valor éste, característico de la temperatura, es la presión de vapor de saturación.

Cuando la presión de vapor es pequeña en relación con la presión atmosférica, puede hacerse la aproximación siguiente:

$$r \approx q = \frac{0,622 \cdot e}{P}$$

### 4.- Humedad absoluta

La humedad absoluta, también llamada densidad de vapor se define como la razón,  $d_v$ , entre la masa de vapor y el volumen:

$$d_v = \frac{m_v}{V}$$

La densidad de vapor puede ser calculada a partir de la presión de vapor y la temperatura. Si la presión de vapor está dada en milibares y la temperatura en grados Fahrenheit,

$$d_v = \frac{390,1 \cdot e}{460 \cdot T} \quad \text{grs/cm}^3$$

70	21,1	25,03	18,77	0,7390	46
90	32,2	48,15	36,11	1,4220	
110	43,3	87,94	65,94	2,5970	

Como ejemplo, tomemos una temperatura de 32,2 °C para la cual existe una presión de vapor de 24,07 milímetros, al observar la tabla, la máxima presión o presión de saturación del vapor de agua, es de 48,15 mm de mercurio, luego la atmósfera tendría para ese momento una humedad relativa:

$$U = \frac{e}{e_w} 100 = \frac{24,07}{48,15} 100 = 50 \%$$

La palabra relativa se asigna por el hecho de ser una relación entre la humedad que tiene el aire en un instante dado y la que podría contener hasta la saturación, a la misma temperatura.

Los higrómetros son los instrumentos utilizados para medir la cantidad de vapor de agua en la atmósfera.

Existen varios tipos de higrómetros:

- 1.- De absorción química
- 2.- De absorción eléctrica
- 3.- De difusión
- 4.- Psicrómetros

Haremos una descripción general del principio en que se basa cada uno de los tipos de higrómetros señalados, y luego incidiremos con mas detalles sobre aquellos que puedan ser de mayor importancia y los de uso mas generalizado, al menos en las estaciones de Venezuela.

El higrómetro de absorción química en la propiedad química de algunas sustancias, de absorber humedad del aire. Se hace pasar un volumen determinado de aire húmedo através de un agente químico concentrado; el aumento en peso que experimenta el agente químico, será la cantidad de agua, en forma de vapor contenía el aire. Así por ejemplo, si se hace pasar una corriente de aire através de una piedra pómez impregnada de ácido sulfúrico concentrado, el aumento en peso que experimenta la piedra, es la cantidad de vapor que contiene el volumen de aire que se hizo pasar através de ella.

El higrómetro de absorción eléctrica utiliza el principio de la variación de la resistencia de una fina membrana electrolítica, con la humedad del aire.

El higrómetro de difusión consiste en una cámara cerrada a la acción directa del aire exterior; el aire penetra a su interior

por medio de una placa porosa. El aire que pasa a través de esta placa, se encuentra sometido a la acción continua de un agente húmedo y de un agente seco dentro de la cámara, trayendo como consecuencia una difusión a través de los poros. Esta difusión produce variación de la presión del aire encerrado en la cámara. El valor de estos cambios en la presión está relacionado con la presión de vapor del aire exterior y la temperatura del instrumento. Esta diferencia de presión se mide por medio de un manómetro conectado a la cámara.

Existen higrómetros que usan algunas sustancias higroscópicas como elemento sensible a las variaciones de la humedad del aire.

Así, existen sustancias que tienen la propiedad de variar sus dimensiones con el contenido de humedad del aire a que se encuentran expuestas. Una de esas sustancias que varía su longitud y en este caso particular, con la humedad relativa, es el cabello humano, el cual se utiliza en la construcción del elemento sensible de los llamados higrómetros de cabello.

#### PSICROMETROS. PRINCIPIOS GENERALES

El psicrómetro consiste esencialmente en dos termómetros normales; uno es un termómetro ordinario, perfectamente seco, llamado termómetro de bulbo seco; el otro, en esencia, igual al primero, pero con un accesorio, que puede ser un fino material humedecido, tal como una muselina, que cubre al bulbo; éste es el llamado termómetro de bulbo húmedo. Esta muselina humedecida hace que las lecturas en los dos termómetros difieran en presencia de una corriente de aire que provoca la evaporación en el bulbo húmedo, dando dicho termómetro una temperatura siempre

menor que la temperatura del termómetro seco.

Cuando se humedece la muselina del bulbo húmedo, la temperatura comienza a descender hasta que cesa el poder de evaporación del aire que lo baña. La diferencia de lecturas de los dos termómetros, es la diferencia psicrométrica, en base a la cual se determina la humedad del aire y mientras mas seco sea el aire mayor será la diferencia entre las dos lecturas.

En base a la diferencia psicrométrica puede determinarse la presión de vapor del aire, mediante una fórmula debida a Regnaud y August:

$$e = e_w - A.p ( T - T' )$$

T temperatura del bulbo seco

T' temperatura del termómetro húmedo

$e_w$  presión de vapor a la temperatura T' ( presión de vapor de saturación )

A constante que depende de las condiciones de velocidad del viento

p presión atmosférica

La fórmula anterior, fué derivada por Spilhaus, mediante las siguientes consideraciones experimentales:

Una masa de aire pasa por el bulbo húmedo en la unidad de tiempo, cuando esto sucede, la temperatura del termómetro pasará de un valor T al valor T'; si a esta masa de aire la llamamos  $m_1$ , y  $m_2$  a la masa de aire saturado con vapor de agua en el mismo tiempo, habrá una transferencia de calor del termómetro al aire, es decir, que el calor desprendido por el termómetro lo absorbe el aire, pudiendo establecerse la siguiente relación:

$$e = e'_w - \frac{m_1 C_p p (T - T')}{m_2 \cdot X \cdot L}$$

- $C_p$  calor específico del aire a presión constante
- $L$  calor latente de evaporación a la temperatura  $T'$
- $X$  razón de la densidad de vapor de agua al aire a la misma temperatura

$$A = \frac{m_1 C_p}{m_2 X L}$$

En los psicrómetros, para velocidad de ventilación constante  $A$  es constante. Para psicrómetros bañados por una corriente de aire de 4 a 10 m/seg. se hace una sola tabla de valores correspondientes a la diferencia de temperatura. Las tablas psicrométricas se elaboran en base a la ecuación anterior.

#### COEFICIENTE DE RETARDO DE LOS PSICROMETROS

Depende del coeficiente de retardo de los dos termómetros. Para el termómetro seco, el coeficiente de retardo,  $\lambda_s$ , es:

$$\lambda_s = \frac{m_B \cdot C_B}{S_B (\delta + K \rho^n V^n)}$$

Para el termómetro húmedo, es menor que el coeficiente de retardo del bulbo seco en las mismas condiciones de exposición.

$$\frac{1}{\lambda_s} = \frac{C}{c_p \cdot m_1} = \frac{1}{\lambda_h} \left( \frac{m_1 C_p}{C_w} + \frac{m_2 X L B}{C_w p} \right)$$

- $m_1$  masa de aire que baña el bulbo
- $m_2$  masa de aire saturado con vapor de evaporación

- X razón de densidad del vapor al aire a la misma temperatura y presión
- B valor de la presión de saturación a la temperatura  $T'$
- $C_w$  capacidad térmica del bulbo húmedo

#### CUIDADO QUE DEBE TENERSE CON EL BULBO HÚMEDO

La muselina debe estar en todo momento, completamente limpia de grasas o sucio; periódicamente debe lavarse con una solución de amoníaco en agua, y luego pasarla por agua destilada o agua de lluvia limpia. Cuando la muselina esté muy contaminada de grasa debe ser reemplazada, y con mayor frecuencia en estaciones que estén cerca de la costa e en ciudades industriales.

#### ERRORES EN LOS PSICROMETROS

- 1.- Errores propios de los termómetros
- 2.- Errores debidos a variación en la velocidad de ventilación
- 3.- Error debido a si la muselina es demasiado gruesa
- 4.- Error a sucios en la muselina, o al uso de agua impura para humedecerla.

Los errores propios de los termómetros son los ya descritos en el capítulo correspondiente a Temperatura. Todos los errores, excepto el de la no constancia en la velocidad de ventilación, influyen, incrementando el valor correcto de la temperatura del termómetro húmedo, y en consecuencia, alterando el verdadero valor de la humedad.

## DIFERENTES TIFOS DE PSICROMETROS

Existen diferentes tipos de psicrómetros, cada uno con sus variantes, pero con el principio común de lograr la diferencia psicrométrica de los dos termómetros:

- 1.- Psicrómetro simple
- 2.- Psicrómetro giratorio
- 3.- Psicrómetros ventilados

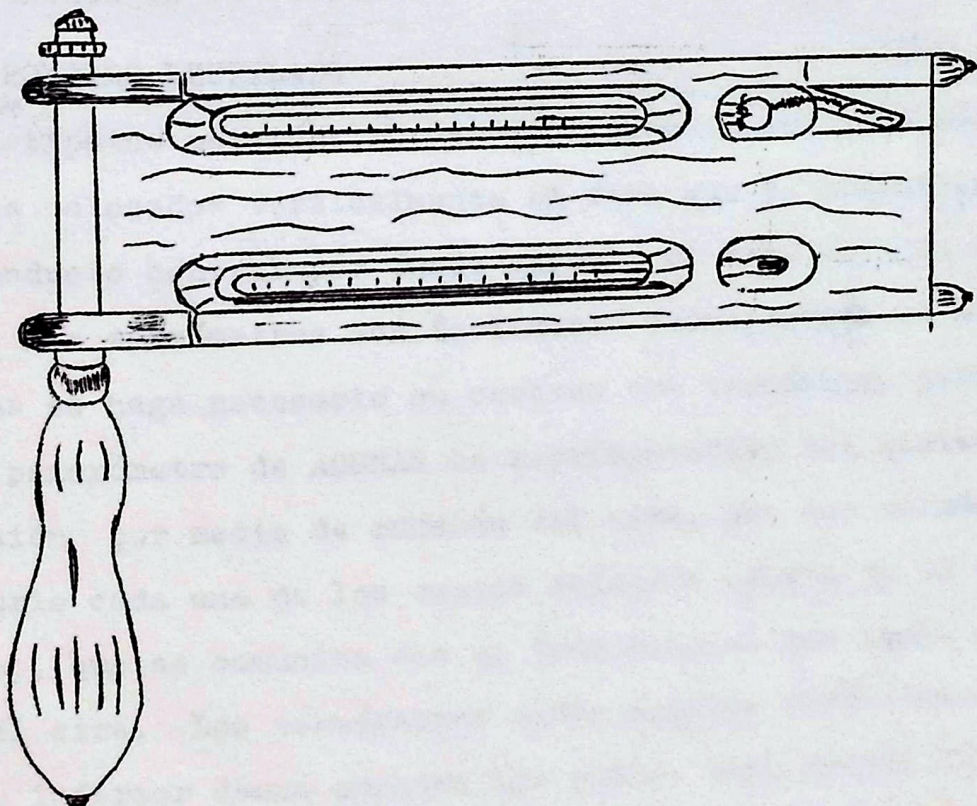
### PSICROMETRO SIMPLE

Es el mas sencillo de todos los psicrómetros; consiste en dos termómetros ordinarios de mercurio en vidrio. Los dos termómetros van fijos a un soporte metálico, y el conjunto se coloca dentro de la caseta meteorológica en posición vertical, cercano a una de sus paredes. La ventilación es lenta y se hace mediante un ventilador de mano que se coloca en la pared de la caseta cerca al instrumento. Para humedecer la muselina, en la parte inferior del soporte lleva un depósito de agua colocado en la dirección colocación del bulbo húmedo. La muselina se moja mediante una mecha de algodón absorbente por el principio de capilaridad.

### PSICROMETRO GIRATORIO

Los dos termómetros de mercurio en depósito de vidrio van montados en un estuche de madera, el cual está provisto de un mango por medio del cual se hace girar al instrumento para darle la ventilación al termómetro húmedo. El conjunto debe hacerse girar rápidamente a fin de lograr una velocidad del aire de unos 4 metros/seg. . El movimiento giratorio debe ser lo mas constante posible: En la dirección del bulbo húmedo, lleva un tubo que

PSICROMETRO GIRATORIO



contiene agua destilada y por acción capilar se impregna la selina. El efecto de la radiación no es muy grande cuando se mantiene girando al instrumento, pero se hace mayor en el momento de hacer la lectura. Varios ensayos de lectura deben hacerse después de 30 segundos de rotación del instrumento, hasta que las lecturas en cada termómetro ( lecturas consecutivas ) se mantengan dentro de la diferencia de 0,02 °F y mas aún dentro de los 0,01 °F.

#### DESVENTAJAS DEL INSTRUMENTO

Los termómetros están sujetos a la influencia de la radiación, especialmente en el momento de observación. Durante el período de lluvias el termómetro seco puede mojarse causando un descenso aparente en la temperatura.

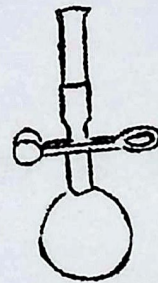
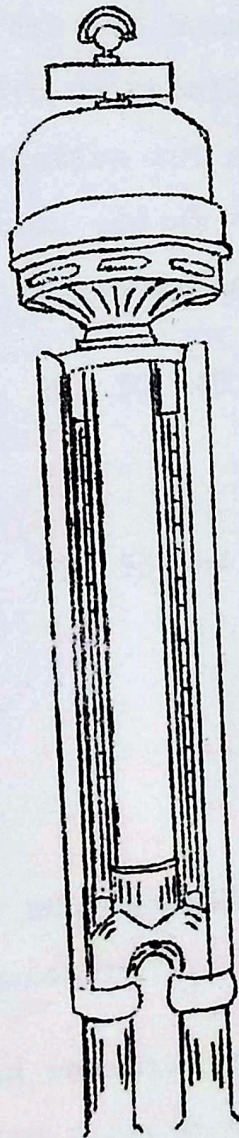
#### PSICROMETRO VENTILADO

Este tipo de psicrómetro consiste esencialmente en dos termómetros colocados verticalmente en forma que se comunican con un conducto central por donde circula el aire para su ventilación. Los termómetros son fácilmente desmontables en momentos en que se haga necesario su chequeo con termómetro patrón.

El psicrómetro de ASSMAN es representativo del sistema de ventilación por medio de succión del aire. Usa dos termómetros de mercurio cada uno de los cuales colocado dentro de un tubo metálico, que se comunica con el tubo central que sirve de conducto del aire. Los termómetros deben ajustarse correctamente en la parte inferior donde encajan los bulbos para evitar fallas en el sistema de ventilación. El mecanismo de ventilación puede ser eléctrico o por el sistema mecánico de cuerda

SISTEMA DE  
VENTILACION

PSICROMETRO  
ASSMANN



INYECTOR  
PARA  
HUMEDECER  
LA MUSELINA

## HIGROMETRO DE CABELLO

Muchas sustancias orgánicas son higroscópicas, esto es, alteran sus dimensiones cuando su contenido de humedad varía. Son ejemplos de estas sustancias, el cabello humano; cuernos; pieles de animales etc. Estas variaciones en el contenido de humedad de las sustancias, que se manifiesta en variaciones de sus dimensiones son aprovechadas para hacer la medida de la humedad relativa del aire; así por ejemplo el cabello humano se utiliza en la construcción del llamado higrómetro de cabello. Existe una relación constante entre la humedad relativa del aire y el porcentaje de cambio del cabello en relación con el cambio en la longitud total. En la siguiente tabla se da esa relación:

Humedad relativa: 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

Variación de la

longitud del ca- }  
bello como frac- } 0 21 39 53 64 73 79 85 90 95 100  
ción de la longitud  
total

## COEFICIENTE DE RETARDO DEL CABELLO

Experimentalmente se encontró que la razón  $\frac{dU}{dt}$  donde  $U$  es el valor de la humedad relativa para un momento determinado, y  $U_f$  el valor de la humedad después de un cierto tiempo  $t$  no es una razón constante para cada instrumento, sino que depende, además de la ventilación, del valor que tome  $U$ , de la temperatura; de la tensión del cabello; de los tratamientos previos a que fue

sometido el cabello y además de su límite de extensión. Spilhaus logró establecer la relación

$$\frac{1}{U} \cdot \frac{dU}{dt} = K(U - U_f)^n$$

donde los valores que toman K y n son determinados para ciertas condiciones de los factores antes mencionados.

#### EFEECTO DE LA TENSION SOBRE EL CABELLO

Si se aplica una fuerza de tensión a un hilo de cabello, para una extensión por encima del 2 por ciento, el cabello se comporta con todas las características de un cuerpo elástico, con un valor constante del módulo de Young; pero por debajo del límite de elasticidad la extensión aumenta rápidamente.

Del valor derivado de Spilhaus, de acuerdo con las condiciones de tensión y temperatura a que se halla sometido el cabello, se encontró que cuando la tensión aumenta, K aumenta y el retardo se hace menor; cuando la temperatura decrece el coeficiente de retardo aumenta y K se hace menor. En la relación de Spilhaus cuando la humedad relativa es alta, n se hace igual a 1; cuando la humedad es baja, n toma valores menores que la unidad.

Según la calidad del cabello, así como también de su tratamiento previo, el coeficiente de retardo varía en orden de ser cuando el cabello es de buena calidad y cuando ha sido correctamente tratado. La siguiente tabla nos muestra la variación del coeficiente de retardo de un cabello común y un cabello de Frankerberger, en función con la temperatura, para un valor de la humedad relativa de 63 %

	20	10	0	-10	-20	-30	Temperatura en °C
cabello común	30	40	55	175	400	800	retardo en seg.
cabello de Frankerb.	10	10	12	15	20	30	" " "

Para todas las temperaturas el retardo en el cabello de Frankerberger es menor que el correspondiente al cabello común.

Basados en el principio de variación de la longitud del cabello con la variación de la humedad relativa, se construyen los higrómetros de cabello. Un haz de cabellos se halla sostenido mediante mordazas en un soporte; en una de estas mordazas a las cuales llegan los extremos del haz de cabello se encuentra un tornillo que tiene como función darle la tensión requerida al haz. El cabello pasa por un gancho que se articula con un pequeño brazo que se encuentra a su vez con un cuadrante uno de cuyos extremos, el extremo superior, termina en un contrapeso. Este arco se mantiene tangente a otro igual a él, mediante un resorte que los une por sus extremos diagonales. Este segundo arco se continúa con un brazo que termina en una plumilla que inscribe en la escala correspondiente las variaciones de la humedad, según la calibración del instrumento. Esto en el caso de instrumento con sistema de registro; en el higrómetro de lectura directa, una varilla indicadora tomará las posiciones correspondientes a las variaciones de la humedad y según sea la posición del índice, se hace la lectura instantánea.

# HIGROMETRO DE CABELLO

