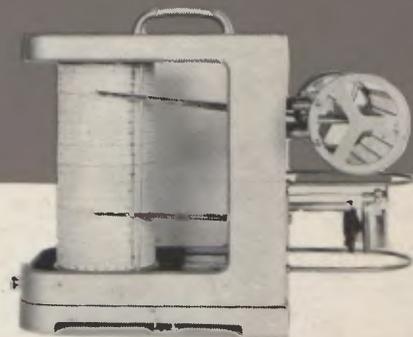


# EL CLIMA EN LOS MUSEOS



GAËL DE GUICHEN

BIBLIOTHEQUE  
IV  
B  
22  
bis  
LIBRARY  
ICCROM



Instituto Nacional de Patrimonio Cultural y Desarrollo PNUD/UNESCO



ICCROM

BIBLIOTHEQUE

IV

B

22

bis

LIBRARY

ICCROM

# EL CLIMA EN LOS MUSEOS

## MEDICION FICHAS TECNICAS

Este volumen de la serie "El Clima en los Museos" se refiere a la medición de la temperatura y la humedad relativa en los museos. Los datos de temperatura y humedad relativa se obtienen a través de sensores de temperatura y humedad.

De acuerdo a las recomendaciones de la ICCROM, la medición de la temperatura y la humedad relativa debe realizarse en los museos de la siguiente manera:

La temperatura debe medirse a lo largo de 24 horas en los museos de la siguiente manera: la temperatura debe medirse en los museos de la siguiente manera:

En los museos de la siguiente manera: la temperatura debe medirse en los museos de la siguiente manera:

Las mediciones de la temperatura y la humedad relativa deben realizarse en los museos de la siguiente manera: la temperatura debe medirse en los museos de la siguiente manera:

### GAËL DE GUICHEN

Este volumen de la serie "El Clima en los Museos" se refiere a la medición de la temperatura y la humedad relativa en los museos. Los datos de temperatura y humedad relativa se obtienen a través de sensores de temperatura y humedad.

De acuerdo a las recomendaciones de la ICCROM, la medición de la temperatura y la humedad relativa debe realizarse en los museos de la siguiente manera:

Este volumen de la serie "El Clima en los Museos" se refiere a la medición de la temperatura y la humedad relativa en los museos. Los datos de temperatura y humedad relativa se obtienen a través de sensores de temperatura y humedad.

De acuerdo a las recomendaciones de la ICCROM, la medición de la temperatura y la humedad relativa debe realizarse en los museos de la siguiente manera:

El presente volumen de la serie "El Clima en los Museos" se refiere a la medición de la temperatura y la humedad relativa en los museos. Los datos de temperatura y humedad relativa se obtienen a través de sensores de temperatura y humedad.



2015

Esta versión española es una co-publicación del ICCROM  y el Proyecto Regional de Patrimonio Cultural y Desarrollo PNUD/UNESCO   

Proyecto Regional de Patrimonio Cultural y Desarrollo PNUD/UNESCO  
 Centro de Información  
 13 rue de la Bibliothèque  
 00185 Paris, France

EL CLIMA EN LOS MUSEOS  
MEDICION FICHAS TECNICAS



37102

- © 1987 Proyecto Regional de Patrimonio Cultural y Desarrollo PNUD/UNESCO  
Casilla 4480  
Lima 100, Perú
- Centro Internacional para la Conservación y Restauración de los  
Bienes Culturales — ICCROM  
13 Via di S. Michele  
00153 Roma, Italia

---

## INTRODUCCION

---

No es eterno el material del que están compuestas las colecciones de museo. Día a día, inexorablemente, las colecciones que nos han sido transmitidas por las generaciones precedentes se deterioran incluso en los museos. Los agentes de destrucción son numerosos: humanos o naturales, físicos o químicos.

De acuerdo a los especialistas, el más implacable de todos ellos es el clima.

Pero, contrariamente a lo que se cree, no son las variaciones de temperatura las más peligrosas sino las variaciones de humedad.

En los museos la temperatura promedio no excede por lo general los 30°C (50°C—35°C).

Con excepción de las ceras y las películas (films), los objetos reaccionan escasamente a dicha fluctuación de temperatura. De otro lado, la variación media anual de humedad en un museo puede llegar al 50% e incluso al 90%.

En tales circunstancias, casi todos los objetos reaccionan a dichas variaciones, haciéndolo a veces en forma violenta. En efecto, la mayor parte de ellos, sin tener en cuenta su edad, origen y constitución, reaccionan rápidamente a las variaciones de la humedad relativa ambiental. Resulta, pues, básico saber medir la humedad relativa, así como controlarla y estabilizarla en la medida de lo posible.

Esta publicación reúne una serie de fichas técnicas producidas por ICCROM para ayudar a los que participan en nuestros cursos de capacitación.

Las nociones que aquí se desarrollan están expuestas de la forma más didáctica posible.

Este trabajo tiene por objeto asistir a todos aquellos que son conscientes de la importancia

capital de la medición y del control del clima para la conservación de las colecciones, pero que no sabrían por dónde empezar a poner en práctica los conocimientos adquiridos.

Esta segunda edición ha permitido corregir algunos errores que se habían deslizado en la primera. También ha hecho posible incluir información adicional concerniente a los aparatos electrónicos que empiezan a ser utilizados en los museos, así como proponer un método para estudiar cómo "vive" un museo desde el punto de vista climático.

Asimismo se ha añadido una bibliografía comentada.

El presente trabajo ha sido editado por ICCROM. Aprovecho la oportunidad para agradecer a Susan Inmam y Cynthia Rockwell por su activa colaboración. Igualmente a Colette di Matteo, Bruno Mühlethaler, Robert Organ y Jacqueline Thiébauld por sus muy útiles sugerencias.

Roma, setiembre de 1984.



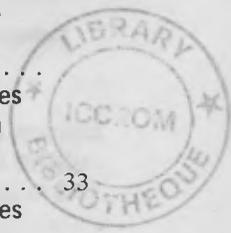
---

## CONTENIDO

---

Introducción .....	3
Contenido .....	5
<hr/>	
1. Fuentes de humedad en el aire .....	7
<hr/>	
2. Medición de la humedad del aire .....	8
<hr/>	
2.1. Saturación .....	8
2.2. Condensación .....	9
2.3. Humedad absoluta .....	10
2.4. Humedad relativa .....	11
2.5. Forma de mantener estable la humedad relativa cuando la temperatura varía .....	12
<hr/>	
3. Instrumentos de medición puntual .....	13
<hr/>	
3.1. Instrumentos que no necesitan calibrage .....	13
3.1.1. Instrumento que mide el punto de rocío .....	14
3.1.2. Sicrómetro .....	15
3.1.2.1. Sicrómetro de molinete . . .	16
3.1.2.2. Sicrómetro con ventilación mecánica .....	17
3.1.2.3. Sicrómetro con ventilación eléctrica .....	18
3.1.2.4. Tabla sicrométrica o tabla de conversión .....	19
3.2. Instrumentos que necesitan cali- braje .....	21
3.2.1. Higrómetro de papel .....	22
3.2.2. Higrómetro de cabello .....	24
3.2.3. Higrómetro electrónico . . . .	25

4. Instrumentos de registro .....	26
<hr/>	
4.1. Higrógrafo .....	27
4.2. Termohigrógrafo .....	28
4.3. Hoja de registro .....	29
4.3.1. Variación de las condiciones climáticas en el exterior en días soleados y clima templado .....	33
4.3.2. Variación de las condiciones climáticas en el exterior en días cubiertos y clima templado .....	33
4.3.3. Variación de las condiciones climáticas en el interior de un edificio y en el interior de una vitrina .....	35
<hr/>	
5. Diagrama del aire húmedo o diagrama sicrométrico .....	37
<hr/>	
5.1. Utilización del diagrama del aire húmedo .....	38
5.2. Variaciones climáticas en una vitrina .....	39
<hr/>	
6. Cómo aprender a conocer el clima de un edificio .....	40
<hr/>	
7. Humedad relativa aconsejada para una buena conservación de los objetos .....	41
<hr/>	
8. Conclusiones .....	42
<hr/>	
Ejercicios y soluciones .....	43
Glosario .....	46
Bibliografía .....	47
Direcciones de algunos fabricantes .....	47





## 1. FUENTES DE HUMEDAD EN EL AIRE

El agua puede presentarse en tres estados: sólido (hielo), líquido y gaseoso.

Simbolicemos el agua líquida de esta forma: ● y el vapor de agua: ☁

Representemos así el paso del agua líquida al vapor de agua:

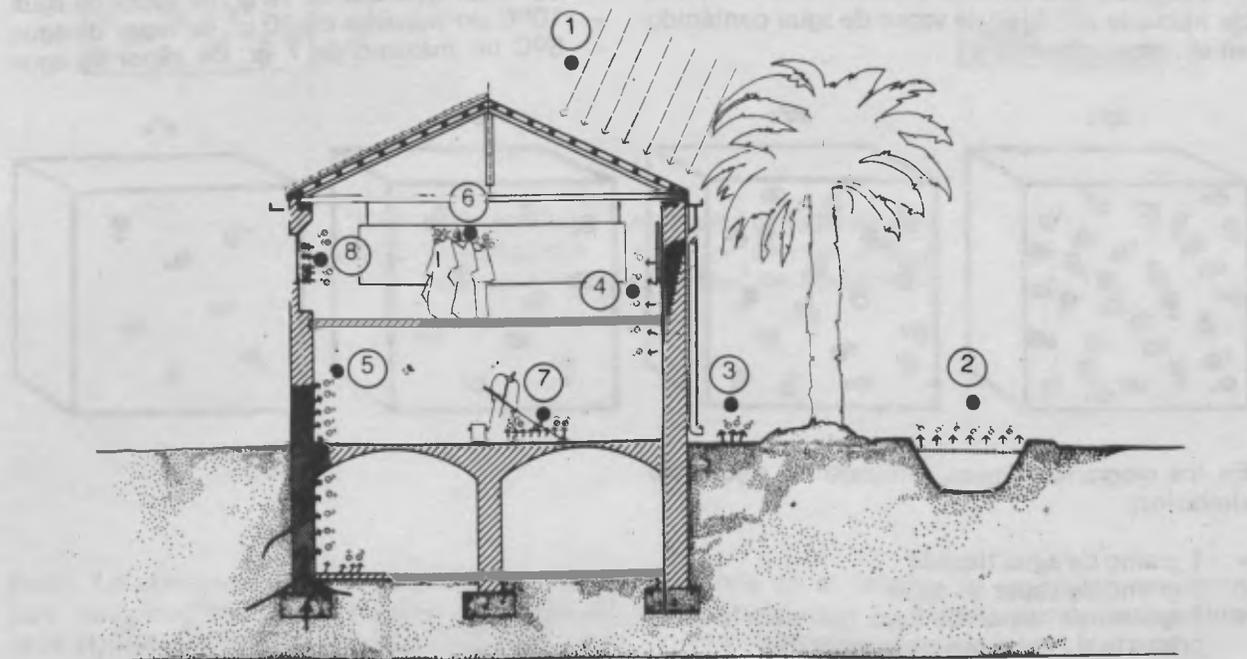
→ ☁ Se trata de la evaporación.

La evaporación absorbe siempre calor de la atmósfera circundante. Representemos así el fenómeno inverso:

☁ → Se trata de la condensación.

En el caso de los museos, el vapor de agua proviene básicamente de las siguientes fuentes:

- a) del exterior:
  - 1) la lluvia
  - 2) los lagos, los ríos, el mar
  - 3) la tierra húmeda
- b) de las paredes:
  - 4) goteras y tubos agujereados
  - 5) la capilaridad, que hace subir la humedad del suelo a través de las paredes
- c) del interior:
  - 6) El cuerpo humano, la respiración (a manera de indicación, un hombre en reposo produce alrededor de 50 gr. de vapor de agua por hora).
  - 7) La limpieza
  - 8) La condensación en las superficies frías



## 2. MEDICION DE LA HUMEDAD DEL AIRE

Con frecuencia empleamos los siguientes términos:

- aire seco
- aire húmedo
- aire muy húmedo

Pero estos términos son subjetivos.

Sólo una medición precisa de la cantidad de vapor de agua contenida en el aire nos permitirá, como consecuencia, actuar de una manera eficaz.

Pero antes de tratar sobre la medición del vapor de agua contenido en el aire, expliquemos el fenómeno de la saturación (ficha 2.1) y el fenómeno de la condensación (ficha 2.2).

Una vez comprendidos dichos fenómenos físicos, resultará sencillo explicar las dos formas de medir la cantidad de vapor de agua contenido en el aire, a saber:

- la humedad absoluta (HA) (ficha 2.3)
- la humedad relativa (HR) (ficha 2.4)

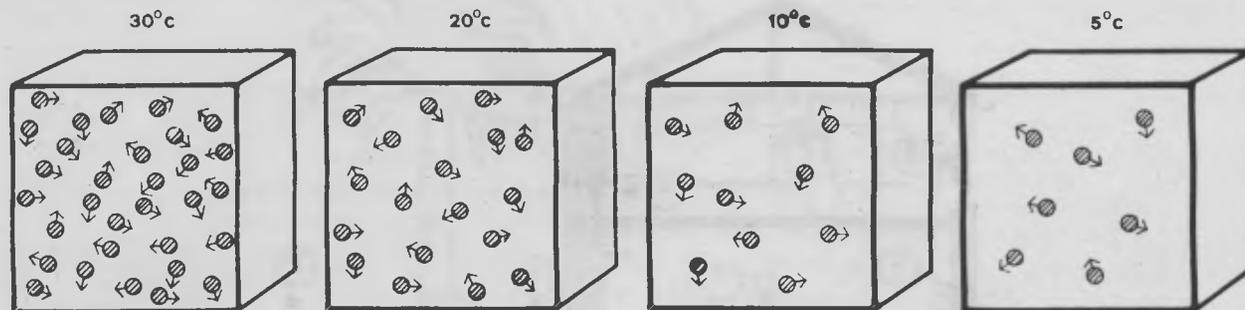
### 2.1 Saturación (S)

El agua está contenida en el aire bajo la forma de vapor de agua. Mientras más caliente esté el aire, mayor cantidad de agua podrá contener.

**La saturación (S).**— Es la cantidad máxima de vapor de agua que puede contener un volumen de aire a una determinada temperatura. Por lo general se expresa en gramos de vapor de agua por metro cúbico de aire.

Imaginemos ahora una vitrina de un metro cúbico. Este metro cúbico de aire puede contener a:

- 30°C un máximo de 31 gr. de vapor de agua (valor redondeado con la cifra más alta) (1)
- 20°C un máximo de 18 gr. de vapor de agua
- 10°C un máximo de 10 gr. de vapor de agua
- 5°C un máximo de 7 gr. de vapor de agua



En los diagramas hemos utilizado los siguientes símbolos:

- 1 gramo de agua líquida
- ♂ 1 gramo de vapor de agua
- 1 gramo de vapor de agua que podría estar presente si el aire estuviese saturado.

(1) Los valores exactos de la saturación son:  
temperatura: 5° 10° 20° 30°  
saturación en g/m<sup>3</sup>: 7,61 9,32 17,11 30,03

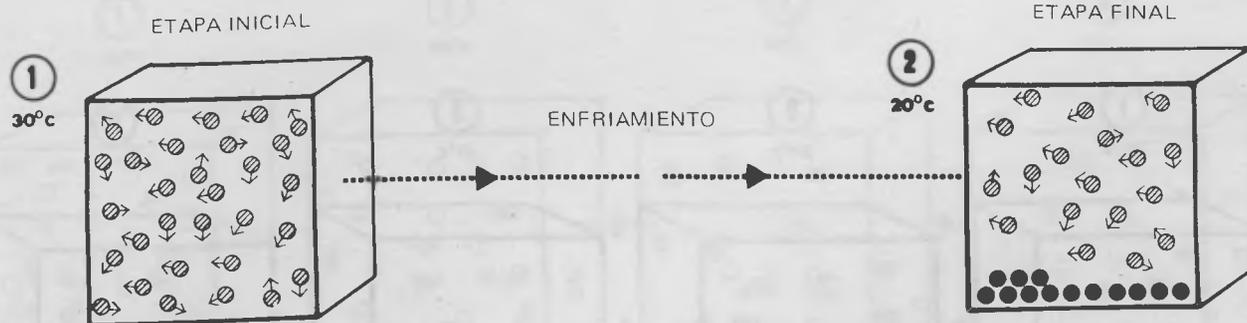
## 2.2 Condensación (C)

La condensación consiste en el paso de un cuerpo en estado gaseoso a un estado líquido.

En el caso del agua, la condensación se manifiesta por la aparición de gotitas de agua (rocío) o por la presencia de una capa muy fina del líquido elemento. La condensación empieza siempre

en las superficies de menor temperatura cuando el aire saturado se enfría.

**Ejemplo:** Si la temperatura de un metro cúbico de aire saturado se reduce de 30°C a 20°C, aparecerán entonces 13 gramos de agua líquida. En efecto, empezarán a formarse gotitas de agua cuando la temperatura sea menor de 30°C. Mientras más se enfríe el aire, mayor será la condensación de vapor de agua.



a 30°C SATURACION = 31 g/m<sup>3</sup> de vapor de agua  
a 20°C SATURACION = 18 g/m<sup>3</sup> de vapor de agua  
+ CONDENSACION = 13 g/m<sup>3</sup> de agua líquida

**Nota:** La condensación presenta graves peligros para las colecciones, puesto que el agua condensada podría penetrar, por capilaridad, de forma

profunda en el interior de un objeto, transportando productos químicos, agentes contaminadores y microorganismos.

## 2.3 Humedad Absoluta (HA)

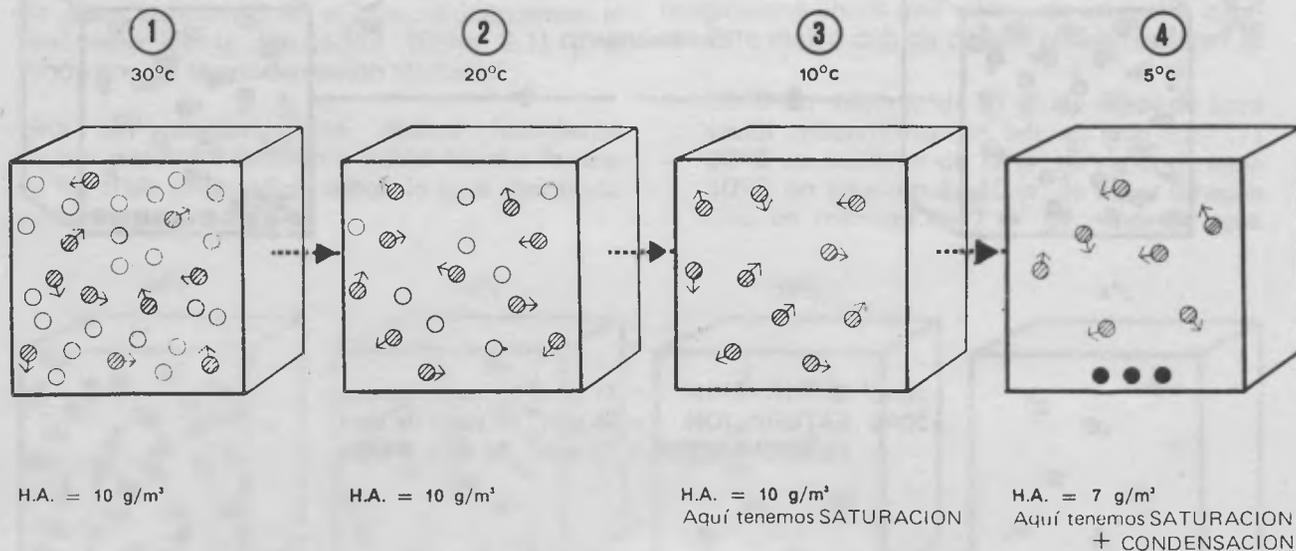
El aire no siempre contiene la máxima cantidad de vapor de agua, lo que significa que no siempre está saturado.

La humedad absoluta (HA) es el peso del vapor de agua contenido en un volumen de aire dado a una determinada temperatura. Se expresa en gramos de agua por metro cúbico de aire.

**Ejemplo:** Si una vitrina de un metro cúbico a 30°C contiene 10 gramos de vapor de agua,

enfriada a 20°C contendrá 10 gr. de vapor de agua  
enfriada a 10°C contendrá 10 gr. de vapor de agua  
enfriada a 5°C contendrá 7 gr. de vapor de agua  
más 3 gr. de agua condensada.

Representemos el proceso del siguiente modo:



La medición de la humedad absoluta no indica si el aire está saturado, si aún puede absorber vapor de agua o cuánto puede absorber. De modo que conviene estudiar, para un volumen dado, la rela-

ción de la humedad absoluta con respecto a la saturación, relación que tiene que ver con la temperatura.

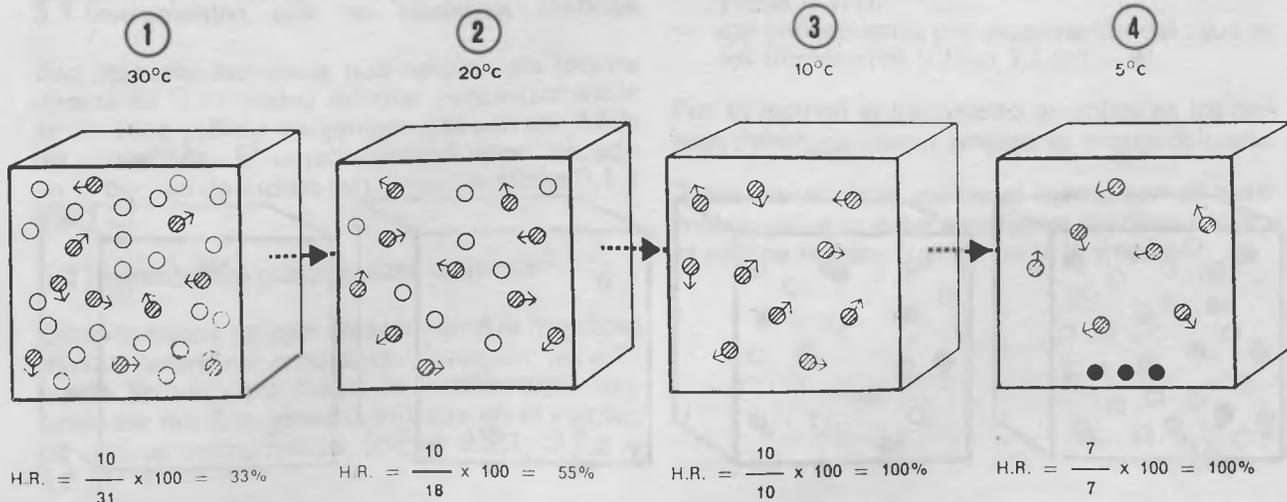
## 2.4 Humedad Relativa (HR)

La humedad relativa del aire es la relación porcentual entre la cantidad de vapor de agua contenido en el aire (HA) y la que habría si, a igual

temperatura, el aire estuviese saturado.

$$HR = \frac{HA}{S} \times 100 \quad (\text{o bien}) \quad \frac{\text{existente}}{\text{posible}} \times 100$$

La humedad relativa se expresa en ‰ y varía, por tanto, entre el 0‰ y el 100‰.



Observamos que a 30°C, 20°C y 10°C, si la humedad absoluta es idéntica, entonces la humedad relativa es diferente.

Así, en una vitrina cerrada, si la cantidad de vapor de agua contenida en el aire no varía, entonces:

- cuando la temperatura aumenta, la humedad relativa disminuye (1)
- cuando la temperatura disminuye, la humedad relativa aumenta.

La medición de la humedad relativa es fundamental para la conservación, ya que ella nos indica hasta qué punto el aire es aún capaz de absorber vapor de agua y, en consecuencia, de secar o humedecer los objetos que están a su alcance (Cf. ejercicio 1).

- (1) En el transcurso de un día, la humedad relativa disminuirá en caso de que una vitrina sea calentada por el sol o una lámpara "spot".

## 2.5 Forma de mantener estable la Humedad Relativa cuando la temperatura varía

Hemos visto que si la humedad relativa es del 35%, esto significa que el aire contiene 35% de vapor de agua con relación a lo que podría contener si estuviera saturado a esa misma temperatura.

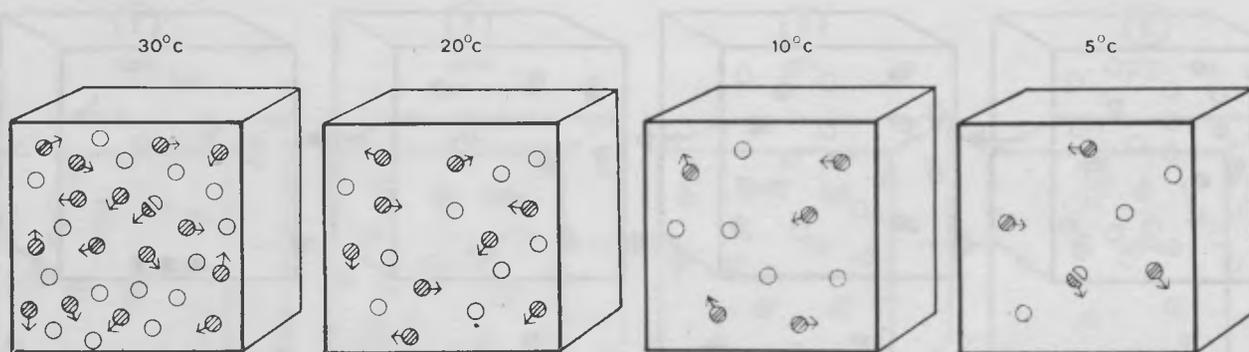
Lo que quiere decir también que el aire puede contener 65% más de vapor de agua.

Veamos, pues, qué cantidad de vapor de agua está contenido en:

- una vitrina a  $t = 5^{\circ}\text{C}$  con  $\text{HR} = 50\%$
- una vitrina a  $t = 10^{\circ}\text{C}$  con  $\text{HR} = 50\%$
- una vitrina a  $t = 20^{\circ}\text{C}$  con  $\text{HR} = 50\%$
- una vitrina a  $t = 30^{\circ}\text{C}$  con  $\text{HR} = 50\%$

En estos cuatro casos en los que la HR es del 50%, el aire contiene la mitad de vapor de agua de lo que contendría si hubiese saturación.

Encontramos, pues, las siguientes condiciones:



H.R. = 50%  
H.A. = 15,5 g/m<sup>3</sup>

H.R. = 50%  
H.A. = 9 g/m<sup>3</sup>

H.R. = 50%  
H.A. = 5 g/m<sup>3</sup>

H.R. = 50%  
H.A. = 3,5 g/m<sup>3</sup>

Observamos que en los cuatro casos la humedad absoluta es diferente, mientras que la humedad relativa es constante.

Podemos concluir que en un volumen cerrado (vitrina, habitación, depósito), **para mantener constante la HR,**

- hay que añadir vapor de agua cuando la temperatura aumenta. Por lo general esto se lleva a cabo en invierno colocando un recipiente de agua sobre un radiador. Existen, sin embargo, métodos mejores.
- hay que suprimir el vapor de agua cuando la temperatura disminuye, de lo contrario habrá condensación (Cf. ejercicio 2).

---

### 3. INSTRUMENTOS DE MEDICION PUNTUAL

---

Contrariamente a lo que en general se admite, no es la temperatura sino la humedad relativa la que en la mayoría de los casos condiciona la buena conservación de las colecciones.

Para medir esta HR utilizamos dos clases de instrumentos:

#### 3.1 Instrumentos que no necesitan calibrage

Son aparatos esenciales que no dan una lectura directa de la humedad relativa. Para encontrarla se les debe utilizar conjuntamente con una tabla de conversión. El usuario deberá estar iniciado en el empleo de dichos instrumentos (ficha 3.1.1 y 3.1.2).

#### 3.2 Instrumentos que necesitan calibrage

Estos aparatos indican directamente la humedad relativa sobre un cuadrante. Cualquier persona puede leerlos, pero **deben ser recalibrados** regularmente por una persona iniciada en el empleo de dichos instrumentos (fichas 3.2.1, 3.2.2 y 3.2.3)

Se pueden encontrar en el mercado instrumentos simples y otros más complejos pertenecientes a estas dos categorías.

En el presente trabajo nos limitaremos voluntariamente a describir los más simples y baratos que, dicho sea de paso, son los más adecuados para la mayoría de los museos.

---

#### 3.1 Instrumentos que no necesitan calibrage

---

Son indispensables para verificar el buen funcionamiento de otros instrumentos generalmente utilizados que requieren calibrage.

Estos instrumentos deben manipularse con sumo cuidado.

La humedad relativa se mide a partir:

- de la temperatura de condensación en los instrumentos que miden el punto de rocío (ficha 3.1.1).
- del enfriamiento por evaporación del agua en los sicrómetros (fichas 3.1.2.1 — 4).

Por lo general el sicrómetro se utiliza en los museos debido a que su empleo es menos delicado.

**Todo museo debe contar al menos con un sicrómetro**, del que debe encargarse el conservador o la oficina técnica cuando no se le emplee.

### 3.1.1 Instrumento que mide el punto de rocío

#### Método:

Este tipo de instrumento consiste en un espejo cuya temperatura puede ser medida con precisión. El espejo se enfría a intervalos fijos por medio de éter, que es un elemento que se evapora. Cuando se alcanza una determinada temperatura, se inicia lentamente la condensación tan pronto como se va empañando el espejo. Esta temperatura es conocida con el nombre de "punto de rocío", e indica que el aire está saturado (ficha 2.2).

Conociendo la temperatura de la habitación y el punto de rocío podremos, con ayuda del diagrama de la ficha 5, determinar la humedad relativa de la pieza.

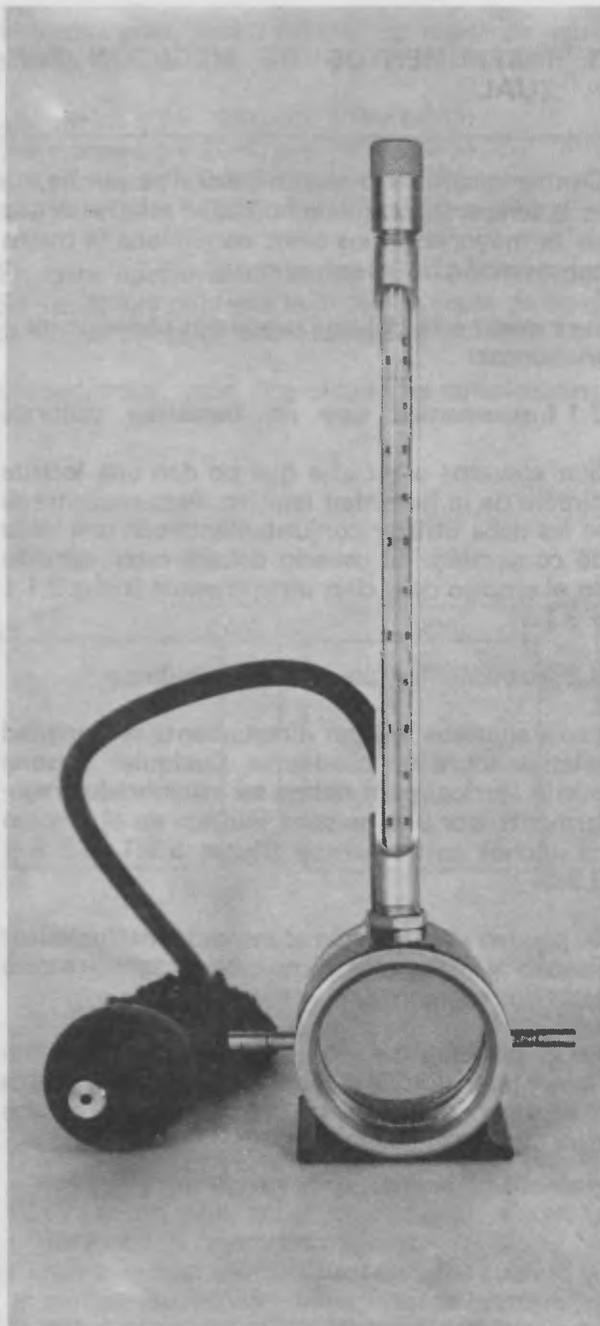
#### Ventajas:

- medición muy precisa
- no necesita corriente de aire
- puede utilizarse para hallar la HR de un espacio pequeño o la de un volumen en el que el clima es diferente al del resto de la habitación (una vitrina pequeña, un rincón de un depósito, un volumen comprendido entre la pared y la parte posterior de un cuadro)
- no necesita calibraje

#### Desventajas:

- muy difícil de manipular
- necesita un diagrama para hallar el valor de la humedad relativa
- más apropiado para ser empleado en un laboratorio que en un museo

**Costo:** de 200 a 3000 dólares.



### 3.1.2 Sicrómetro

**Principio:** El calor es necesario para la evaporación de un líquido. Si una gota de agua se calienta, se evaporará rápidamente. Y si no se calienta se evaporará, igual pero lentamente, absorbiendo de su entorno el calor necesario. (Es por esta razón que sentimos frío cuando nos mojamos. Cuando está sobre la piel el agua absorbe el calor del cuerpo para evaporarse).

Cuando el aire se satura ya no puede absorber humedad y las gotas de agua que allí se encuentren no se evaporarán. **Sin embargo, mientras más seco esté el aire, más rápida será la evaporación y mayor el enfriamiento.**

Utilizamos esta propiedad física para medir la humedad relativa del aire.

**Método:** Se fijan dos termómetros uno al lado del otro. El primero es un termómetro normal que mide la temperatura del aire llamado termómetro de bulbo seco o **Tbs**. El segundo es semejante al primero pero modificado por una gasa húmeda que envuelve al bulbo. Se le conoce con el nombre de termómetro de bulbo húmedo o **Tbh**, y se emplea para medir todo descenso de temperatura causado por la evaporación del agua contenida en la gasa. Para acelerar la evaporación se hace pasar una corriente de aire por sobre los termómetros. Dicha corriente de aire, cuya velocidad debe ser superior a los 4m/sg, puede ser producida por:

- agitación manual del instrumento (ficha 3.1.2.1)
- ventilación mecánica (ficha 3.1.2.2)
- ventilación eléctrica (ficha 3.1.2.3)

Si los termómetros de bulbo seco y bulbo húmedo indican la misma temperatura (lo que quiere decir que no ha habido evaporación), esto significa que la atmósfera está saturada y que la humedad relativa es del 100<sup>o</sup>/o.

Si la temperatura indicada por el termómetro de bulbo húmedo es ligeramente más baja que la

señalada por el de bulbo seco, esto significa que ha habido un poco de evaporación, que la atmósfera no está saturada y que la HR es ligeramente inferior al 100<sup>o</sup>/o.

Si la temperatura indicada por el termómetro de bulbo húmedo es bastante inferior a la señalada por el de bulbo seco, esto quiere decir que ha habido mucha evaporación, que la atmósfera es muy seca y que la HR es muy baja. En efecto, mientras más grande sea la diferencia entre la  $T_{bs}$  y la  $T_{bh}$ , la HR será menor.

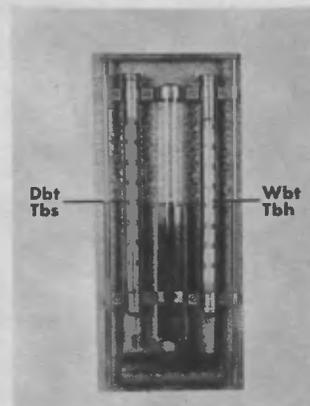
#### Ventajas:

- medición bastante precisa
- fácil de transportar y manipular
- no necesita calibraje

#### Desventajas:

- requiere agua destilada
- necesita una tabla de conversión para hallar el valor de la HR (ficha 3.1.2.4)
- debe estar siempre muy limpia y cambiarse la gasa con bastante frecuencia para mantener la precisión
- tan sólo un error de 1<sup>o</sup>C en la lectura supondrá un error del orden del 5<sup>o</sup>/o al 10<sup>o</sup>/o en la evaluación de la HR

**Costo:** de 20 a 450 dólares



Este sicrómetro se emplea en la meteorología. En un museo resulta inadecuado por no existir circulación de aire.

### 3.1.2.1 Sicrómetro de Molinete

Está compuesto de un termómetro de bulbo seco y de un termómetro de bulbo húmedo fijados uno al lado del otro.

El aire se pone en contacto con los bulbos al hacer girar el instrumento.

#### Modo de empleo:

- El operador humedece la gasa que rodea al bulbo húmedo con agua destilada mediante un pincel o gotero. (El agua normal produciría rápidamente un depósito de sustancia sólida que ocasionaría errores en la medición).
- Se acciona el instrumento como si se tratara de una matraca, manteniéndolo lo más alejado posible del cuerpo, a unas 3/4 revoluciones por segundo durante 30 ó 40 segundos.
- Se realiza de inmediato la lectura, primero del Tbh y luego del Tbs.
- Se repite toda la operación.
- Si la segunda lectura del Tbh y del Tbs es idéntica a la primera, entonces se la utilizará para hallar el valor de la HR mediante la tabla de conversión (ficha 3.1.2.4).

- Si esto no ocurriese, el operador repetirá la operación hasta que se obtengan dos lecturas consecutivas similares.
- Se debe reemplazar la gasa cuando esté sucia o grasosa.

#### Ventajas:

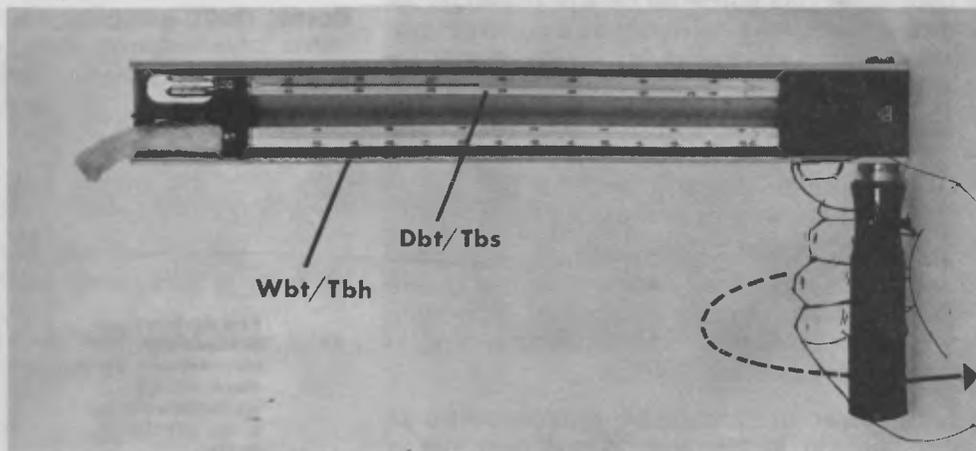
- fácil de transportar
- no necesita calibraje

#### Desventajas:

- tan sólo un error de 1°C en la lectura supondrá un error del 5% o al 10% en la evaluación de la HR
- las lecturas deben realizarse rápidamente, ya que la presencia del operador eleva la temperatura y aumenta la posibilidad de error
- requiere experiencia de parte del operador, de otro modo el valor de la HR que se obtiene será generalmente superior al valor real
- se necesita espacio para hacer girar el instrumento

Costo: de 10 a 100 dólares.

Venta: en cualquier tienda especializada en instrumentos de precisión.



### 3.1.2.2 Sicrómetro con ventilación mecánica.

Este aparato es una versión mejorada del sicrómetro de molinete.

Con este tipo de sicrómetro —llamado también ASSMAN— el aire es succionado por un ventilador movido por un mecanismo de cuerda. La perilla de esta cuerda se halla en la parte superior del instrumento.

Los bulbos están colocados en unos tubos de metal bruñido, a fin de protegerlos del calor que el operador u otras fuentes producen.

#### Modo de empleo:

- El operador humedece la gasa que rodea al bulbo húmedo con agua destilada mediante pincel o gotero.
- Se enciende el ventilador mecánico.
- Se procede a la lectura una vez que se estabiliza la temperatura del termómetro de bulbo seco, utilizando las lecturas del Tbs y del Tbh para hallar el valor de la HR con ayuda de la tabla de conversión (ficha 3.1.2.4).

#### Ventajas:

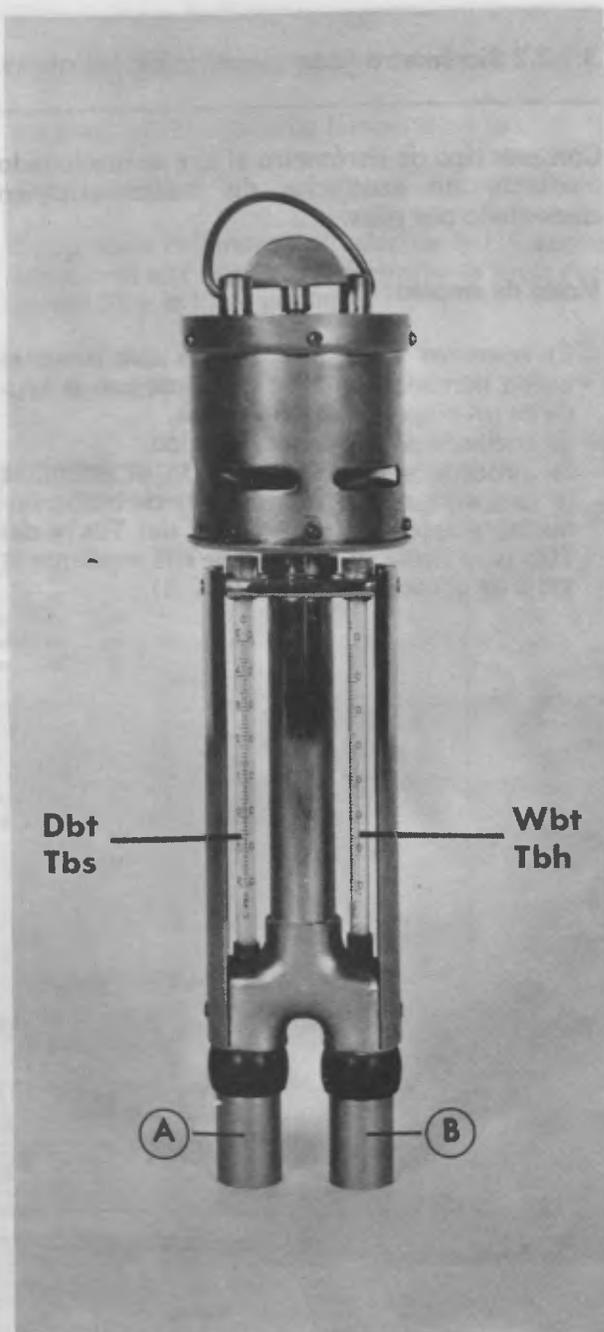
- fácil de transportar
- no necesita calibraje
- precisión

#### Desventajas:

- con este tipo de instrumento la lectura de las temperaturas es con frecuencia difícil si es que no existe una buena iluminación, ya que los números indicadores son de tipo muy pequeño. (Escoger de preferencia el instrumento más grande y con la escala de mayor tamaño.) Esto puede ocasionar eventualmente errores superiores al 10<sup>o</sup>/o.

**Costo:** de 200 a 450 dólares

**Venta:** en algunas tiendas de instrumentos de precisión.



### 3.1.2.3 Sicrómetro con ventilación eléctrica.

Con este tipo de sicrómetro el aire es succionado mediante un ventilador de motor eléctrico alimentado por pilas.

#### Modo de empleo:

- El operador humedece la gasa que rodea al bulbo húmedo con agua destilada con la ayuda de un pincel o gotero limpios.
- Se enciende el ventilador eléctrico.
- Se procede a la lectura cuando se estabiliza la temperatura del termómetro de bulbo húmedo, empleando las lecturas del Tbs y del Tbh para hallar el valor de la HR mediante la tabla de conversión (ficha 3.1.2.4).

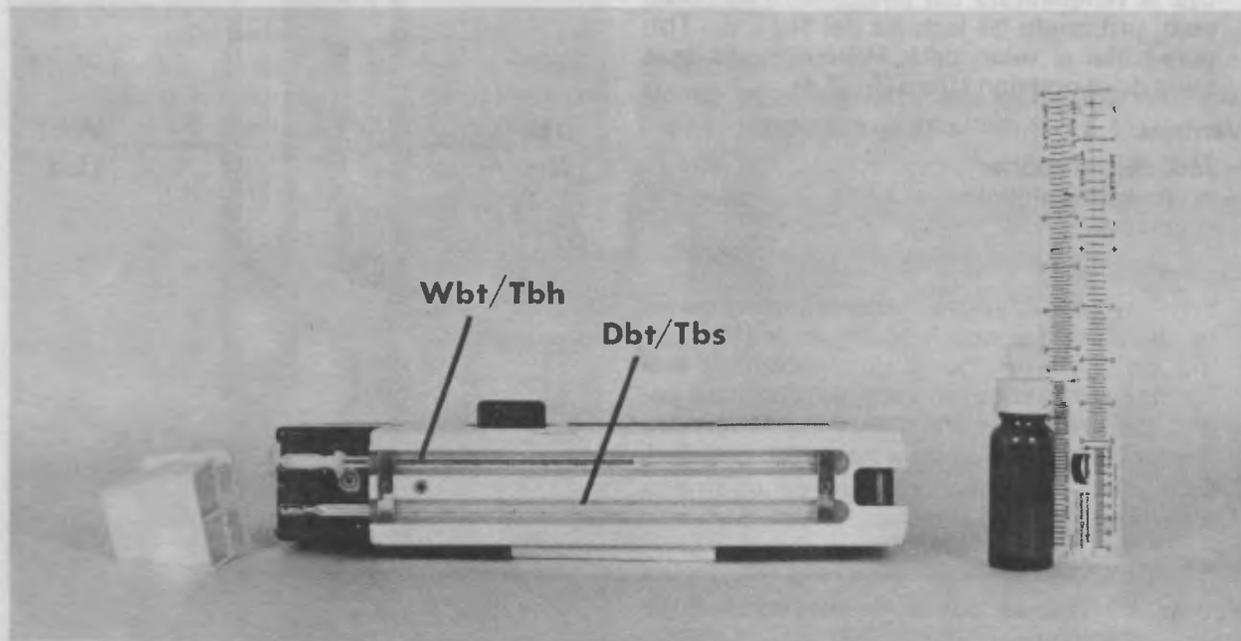
#### Ventajas:

- fácil de transportar
- no necesita calibraje
- precisión
- puede venir a veces con un depósito de agua incorporado
- eventualmente viene con una fuente luminosa para leer en lugares de poca luz
- provisto de una regla para calcular con facilidad la HR a partir de la lectura de las temperaturas
- se le puede modificar a fin de succionar el aire a distancia y así hacer posible la medición de la HR desde un punto alejado

#### Desventajas:

- las pilas se gastan rápidamente. Se recomienda utilizar pilas especiales (de manganeso)

Costo: 200 dólares



### 3.1.2.4 Tabla sicrométrica o tabla de conversión.

Con un sicrómetro podemos leer dos tipos de temperatura:

- la temperatura del termómetro de bulbo húmedo (Tbh)
- la temperatura del termómetro de bulbo seco (Tbs)

A partir de estas dos mediciones se hace necesaria la siguiente tabla de conversión para calcular la humedad relativa.

Si las lecturas indican

$$Tbs = 25^{\circ}\text{C}, \quad Tbh = 21^{\circ}\text{C}$$

entonces la diferencia de temperatura es

$$Tbs - Tbh = 4^{\circ}\text{C}$$

En la tabla hallaremos el valor de la HR correspondiente allí donde se encuentran la línea horizontal 21 y la línea vertical 4.

$$HR = 70\%$$

(Cf. ejercicio 3)

Diferencia de temperatura

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
10	100	88	77	65	54	44	34	24	14							
11	100	88	77	66	56	46	36	26	17							
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20							
13	100	89	79	69	59	49	40	31	23	14						
14	100	90	79	70	60	51	42	33	25	17						
15	100	90	80	71	61	52	44	36	27	20						
16	100	90	81	71	62	54	46	37	30	22	15					
17	100	90	81	72	64	55	47	39	32	24	17					
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27	20					
19	100	91	82	74	65	58	50	43	35	29	22	15				
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24	18				
21	100	91	83	75	67	60	52	46	39	32	26	20				
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28	22	16			
23	100	92	84	76	69	62	55	48	42	36	30	24	18			
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31	26	20	15		
25	100	92	84	77	70	63	57	50	44	38	33	27	22	17		
26	100	92	85	78	71	64	58	51	46	40	34	29	24	19		
27	100	92	85	78	71	65	59	52	47	41	36	30	25	21	16	
28	100	93	86	79	72	65	59	53	48	42	37	32	27	22	18	
29	100	93	86	79	72	66	60	54	49	43	38	33	28	24	19	15
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44	39	34	30	25	21	17
31	100	93	86	80	73	67	62	56	51	45	41	36	31	27	22	18
32	100	93	86	80	74	68	62	57	52	46	42	37	32	28	24	20
33	100	93	87	80	74	69	63	58	52	47	43	38	34	29	25	21
34	100	93	87	81	75	69	64	58	53	48	44	39	35	30	26	23
35	100	93	87	81	75	70	64	59	54	49	44	40	36	32	28	24
36	100	94	87	81	76	70	65	60	55	50	45	41	37	33	29	25
37	100	94	87	82	76	70	65	60	55	51	46	42	38	34	30	26
38	100	94	88	82	76	71	66	61	56	51	47	43	39	35	31	27
39	100	94	88	82	77	71	66	61	57	52	48	44	40	36	32	28
40	100	94	88	82	77	72	67	62	57	53	48	44	40	37	33	29

**Nota:** Esta tabla ofrece la Tbs en la línea vertical. La tabla que figura en la página 20 indica la Tbh también en la línea vertical. Si bien am-

bas tablas son diferentes, la lectura de la HR en los dos casos será idéntica.

Diferencia de temperatura

	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5	13.0	13.5	14.0	14.5	15.0		
0	100	91	83	75	67	61	54	48	42	37	31	27	22	18	14	10	7	4	1														
1	100	92	83	76	69	63	56	50	44	39	34	30	25	21	17	14	10	7	4	1													
2	100	92	84	77	70	64	58	52	47	42	37	33	28	24	21	17	14	11	8	5	2												
3	100	93	85	78	72	66	60	54	49	44	39	35	31	27	23	20	17	14	11	8	6	3	1										
4	100	93	86	79	73	67	61	56	51	46	42	37	33	30	26	23	20	17	14	11	9	7	4	2									
5	100	93	86	80	74	68	63	57	53	48	44	40	36	32	29	25	22	19	17	14	12	10	7	5	3	2							
6	100	93	87	81	75	69	64	59	54	50	46	42	38	34	31	28	25	22	19	17	15	12	10	8	6	5	3	1					
7	100	94	87	81	76	70	65	60	56	52	48	44	40	37	33	30	27	24	22	19	17	15	13	11	9	7	6	4	3	1			
8	100	94	88	82	76	71	66	62	57	53	49	46	42	39	35	32	29	27	24	22	19	17	15	13	11	10	8	6	5	4	2		
9	100	94	88	83	77	72	68	63	59	55	51	47	44	40	37	34	32	29	26	24	22	20	18	16	14	12	10	9	7	6	5		
10	100	94	88	83	78	73	69	64	60	56	52	49	45	42	39	36	33	31	28	26	24	22	20	18	16	14	13	11	10	8	7		
11	100	94	89	84	79	74	69	65	61	57	54	50	47	44	41	38	35	33	30	28	26	24	22	20	18	16	15	13	12	10	9		
12	100	95	89	84	79	75	70	66	62	59	55	52	48	45	42	40	37	35	32	30	28	26	24	22	20	18	17	15	14	12	11		
13	100	95	90	85	80	76	71	67	63	60	56	53	50	47	44	41	39	36	34	32	29	27	25	24	22	20	19	17	16	14	13		
14	100	95	90	85	81	76	72	68	64	61	57	54	51	48	45	43	40	38	35	33	31	29	27	25	24	22	20	19	17	16	15		
15	100	95	90	86	81	77	73	69	65	62	59	55	52	50	47	44	42	39	37	35	33	31	29	27	25	24	22	21	19	18	16		
16	100	95	90	86	82	78	74	70	66	63	60	57	54	51	48	45	43	41	38	36	34	32	30	29	27	25	24	22	21	19	18		
17	100	95	91	86	82	78	74	71	67	64	61	58	55	52	49	47	44	42	40	38	36	34	31	30	28	27	25	24	22	21	20		
18	100	95	91	87	83	79	75	71	68	65	62	59	56	53	50	48	45	43	41	39	37	35	32	31	30	29	27	25	24	22	21		
19	100	96	91	87	83	79	76	72	69	66	62	59	57	54	51	49	47	44	42	40	38	36	34	33	31	29	28	26	25	24			
20	100	96	91	87	83	80	76	73	69	66	63	60	58	55	52	50	48	45	43	41	39	37	35	33	32	31	29	28	26	25	24		
21	100	96	92	88	84	81	77	73	69	67	64	61	58	56	53	51	49	46	44	42	40	39	37	35	33	32	30	29	28	26	25		
22	100	96	92	88	84	81	77	74	71	68	65	62	59	57	54	52	50	47	45	43	41	40	38	36	35	33	31	30	29	27	26		
23	100	96	92	88	84	81	78	74	71	68	65	63	60	58	55	53	51	48	46	44	42	41	39	37	36	34	33	31	30	28	27		
24	100	96	92	89	85	81	78	75	72	69	66	63	61	58	56	54	51	49	47	45	43	42	40	38	37	35	34	32	31	30	28		
25	100	96	92	89	85	81	78	75	72	69	67	64	62	59	57	54	52	50	48	46	44	43	41	39	38	36	35	33	32	31	29		
26	100	96	92	89	85	82	79	76	73	70	67	65	62	60	57	55	53	51	49	47	45	44	42	40	39	37	36	34	33	32	31		
27	100	96	92	89	86	82	79	76	73	71	68	65	63	60	58	56	54	52	50	48	46	44	43	41	39	38	37	35	34	32			
28	100	97	93	90	86	82	80	77	74	71	68	66	63	61	59	57	55	53	51	49	47	45	43	42	40	39	37	36	35	33			
29	100	97	93	90	86	83	80	77	74	72	69	66	64	62	60	57	55	53	51	49	48	46	44	43	41	40	38	37	35	34			
30	100	97	93	90	86	84	80	77	75	72	69	67	65	62	60	58	56	54	52	50	48	47	45	43	42	40	39	38	36	35			
31	100	97	93	90	87	84	81	78	75	73	70	68	65	63	61	59	57	55	53	51	49	47	46	44	43	41	40	38	37	36			
32	100	97	93	90	87	84	81	78	76	73	70	68	66	63	61	59	57	55	53	52	50	48	46	45	43	42	41	39					
33	100	97	93	91	87	85	81	79	76	73	71	68	66	64	62	60	58	56	54	52	50	49	47	46	44	43							
34	100	97	93	91	87	85	82	79	76	74	71	69	67	64	62	60	58	56	55	53	51	49	48	46									
35	100	97	94	91	87	85	82	79	77	74	72	69	67	65	63	61	59	57	55	53	52	50											
36	100	97	94	91	88	85	82	79	77	74	72	70	68	65	63	61	59	58	56	54													
37	100	97	94	91	88	85	82	80	77	75	72	70	68	66	64	62	60	58															
38	100	97	94	91	88	86	83	80	78	75	73	71	68	66	64	62																	
39	100	97	94	92	88	86	83	80	78	75	73	71	69	67																			
40	100	97	94	92	88	86	83	81	78	76	73	71																					

Temperatura de bulbo húmedo : Tbh

### 3.2 Instrumentos que necesitan calibraje.

Algunos materiales tienen características físicas que varían según la humedad del aire. Estos materiales pueden ser utilizados como "elementos sensibles" en los instrumentos que miden la HR.

**Ejemplo:** Un pedazo de madera se hincha ligeramente cuando la humedad aumenta.

Del mismo modo se pueden explotar otras características físicas:

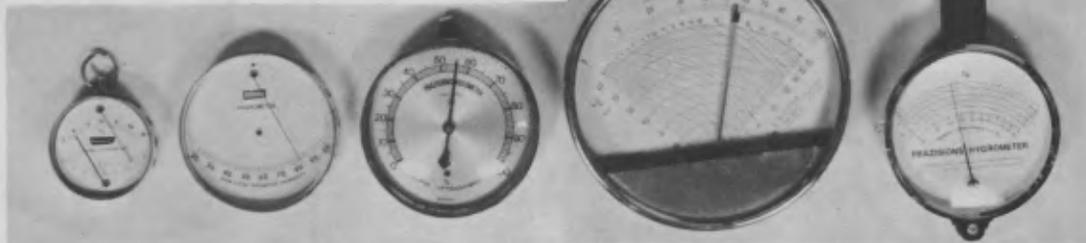
- capacidad o resistencia eléctrica
- variación de los colores (1)
- difusión

Los instrumentos que se componen de estos elementos se conocen con el nombre de HIGROMETROS. En los museos se utilizan por lo general los dos tipos siguientes:

- higrómetro de papel (ficha 3.2.1)
- higrómetro de cabello o de fibra sintética (ficha 3.2.2).

Estos dos tipos de instrumentos deben contar con un tornillo de calibraje, lo que no siempre ocurre. Es básico controlarlos y calibrarlos mensualmente con la ayuda de un sicrómetro o según las recomendaciones del fabricante.

Algunos higrómetros también pueden medir la temperatura; nos referimos a los **Termohigrómetros**.



(1) Se encuentran en el mercado indicadores de papel especial que cambian del color azul al rosado dependiendo de la HR. En función del color será posible

#### Ventajas:

- se puede contar con unos cuantos ya que no son tan costosos
- son lo bastante pequeños como para ser colocados en una vitrina sin malograr la estética
- una rápida mirada permite verificar si la HR es la que conviene a determinado tipo de colección

#### Desventajas:

- a diferencia de los higrógrafos que registran la HR, los higrómetros sólo dan la HR al momento de la lectura.
- necesitan calibrarse periódicamente
- reaccionan lentamente a las variaciones de la HR
- el elemento sensible se deteriora con el tiempo

**Costo:** de 15 a 100 dólares

**Venta:** en cualquier tienda especializada en instrumentos de precisión.

tener una idea aproximada de la HR ambiental. Cuestan alrededor de un dólar.

### 3.2.1 Higrómetro de papel

Este tipo de higrómetro está compuesto de una tira de papel expuesta al aire. Cuando el aire es seco el papel se contrae; cuando el aire es húmedo el papel se extiende.

Esta propiedad se conoce desde hace tiempo. Higrómetros semejantes se usaban ya en el siglo XVII. ( Fig. 1 )

En la actualidad, se coloca una tira de papel en un pedazo de metal delgado enrollándose ambos elementos en forma de espiral. Cuando la humedad varía el papel se contrae o se extiende, haciendo que la espiral se relaje o se tense según sea el caso ( Fig. 2 )

Estas variaciones se transmiten a una aguja que

indicará la HR sobre una escala graduada en  $\%$  (Fig. 3).

#### Ventajas:

- bastante pequeño (6 – 7 cm. de diámetro)
- lectura directa

#### Desventajas:

- no es de mucha fiabilidad
- necesita calibraje frecuente mediante un sicrómetro o colocándosele en un ambiente saturado (seguir las instrucciones del fabricante)
- algunos modelos no pueden ser calibrados
- frágil por ser sensible al polvo y a las sales contenidas en el aire
- reacciona lentamente (a los 30 minutos)

**Costo:** desde 15 dólares

**Venta:** en cualquier tienda especializada en instrumentos de precisión.

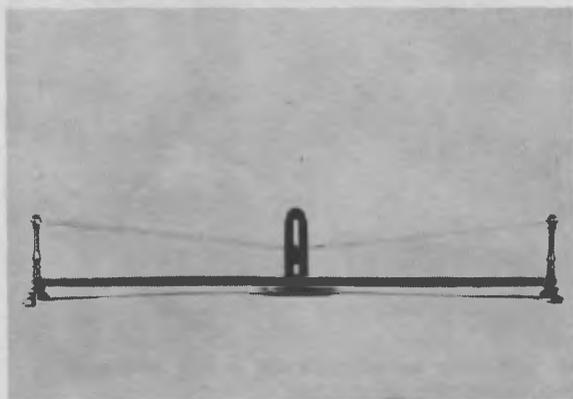


Fig 1



Fig. 2

The hygrometer is a device for measuring the amount of water vapor in the air. It is used in many fields, including meteorology, agriculture, and industry. The most common type is the hair hygrometer, which uses the expansion and contraction of human hair to measure humidity. Other types include capacitive and resistive hygrometers. The scale on a hygrometer is usually in percent relative humidity, ranging from 0% to 100%.



Fig. 3



Fig. 3

### 3.2.2 Higrómetro de cabello

Este instrumento posee como "elemento sensible" un mechón de cabellos sin grasa o una fibra sintética que se estira o se contrae al ser expuesto a las variaciones de la humedad.

Las variaciones son comunicadas (directamente o por un sistema de palanca) a una aguja. El principio es idéntico al del higrómetro de papel.

#### Ventajas:

- lectura directa
- lo suficientemente pequeño como para ser colocado en una vitrina (12 cm. de diámetro)

#### Desventajas:

- debe calibrarse quincenalmente con un sicrómetro o cepillando el elemento sensible con agua destilada. Al funcionar la aguja ésta deberá indicar 95<sup>o</sup>/o para Europa y 90<sup>o</sup>/o para Norteamérica (seguir las instrucciones del fabricante)
- los vapores grasos o la polución pueden dañar el elemento sensible
- fiabilidad entre el 30<sup>o</sup>/o y el 80<sup>o</sup>/o de HR y entre los 15<sup>o</sup>C y los 21<sup>o</sup>C
- margen de error del  $\pm 3 - 4^{\circ}/o$
- reacciona lentamente a las variaciones atmosféricas (a los 20 minutos)

**Costo:** entre 20 y 100 dólares.

**Venta:** en algunas tiendas de instrumentos de precisión.



### 3.2.3 Higrómetro electrónico

El elemento que permite medir la HR —célula de medición— consiste en una resistencia eléctrica cuyo valor varía con la humedad relativa del aire. La célula de medición forma parte de un puente Weston cuyo equilibrio se obtiene manualmente.

#### Modo de empleo:

- Dejar que el instrumento se adapte a la temperatura del aire ambiental.
- Tomar el instrumento y agitarlo suavemente dos o tres veces de derecha a izquierda.
- Presionar el botón y hacer girar la escala circular que indica la HR hasta que se enciendan simultáneamente las dos luces rojas.
- Leer el valor de la HR que aparece en la escala circular.

#### Ventajas:

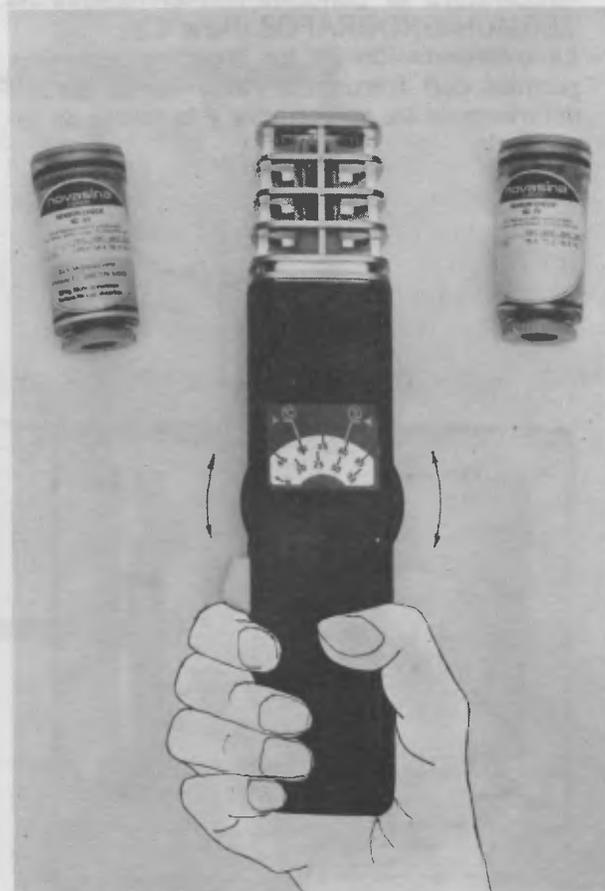
- fácil manipulación
- viene con unos pequeños cilindros con humedad relativa fija (lograda a base de soluciones de sales saturadas) que facilitan su calibraje
- se puede medir con facilidad la HR de un volumen pequeño
- precisión del  $\pm 2\%$
- liviano: 300 gr. aprox.

#### Desventajas:

- no permite comprender lo que es la HR, por lo que debería ser utilizado al inicio de los cursos de formación

**Costo:** entre 180 y 400 dólares.

**Venta:** en tiendas especializadas en la venta de instrumentos de precisión.



#### 4. INSTRUMENTOS DE REGISTRO

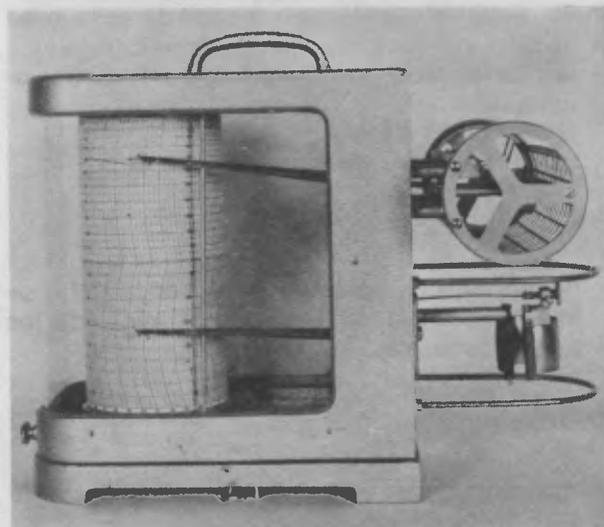
Es indispensable medir la HR. Sin embargo, la humedad varía notablemente entre el día y la noche, de modo que nadie, con excepción de los guardianes, podría leer los higrómetros en las noches o en los días de cierre. Es, pues, necesario emplear aparatos que midan y registren la HR de forma permanente.

- Los instrumentos capaces de registrar la HR se llaman HIGROGRAFOS (ficha 4.1).
- Los instrumentos que registran la HR y la temperatura se conocen con el nombre de TERMOHIGROGRAFOS (ficha 4.2).

La interpretación de los registros obtenidos permite con frecuencia hallar las causas del deterioro de las colecciones y la forma de remediarlo.

Aquí estudiaremos:

- El registro diario de las condiciones climáticas en el exterior en días soleados y clima templado (ficha 4.3.1).
- El registro semanal de las condiciones climáticas en el exterior en días soleados y clima templado (ficha 4.3.1).
- El registro diario de las condiciones climáticas en el exterior en días cubiertos y clima templado (ficha 4.3.2).
- El registro semanal de las condiciones climáticas en el exterior en días cubiertos y clima templado (ficha 4.3.2).
- El registro diario de las condiciones climáticas en el interior de un edificio cerrado (ficha 4.3.3).
- El registro mensual de las condiciones climáticas en el interior de una vitrina (ficha 4.3.3).



## 4.1 Higrógrafo

Este tipo de instrumento mide la HR según el principio del higrómetro de cabello (ficha 3.2.2), y la registra igualmente en un papel. En lugar de una aguja posee una especie de lapicero. El cuadrante ha sido reemplazado por una hoja de registro colocada en un cilindro que gira sobre sí mismo gracias a un movimiento mecánico.

### Ventajas:

- registra la HR en ausencia del personal
- según se requiera, puede registrar las varia-

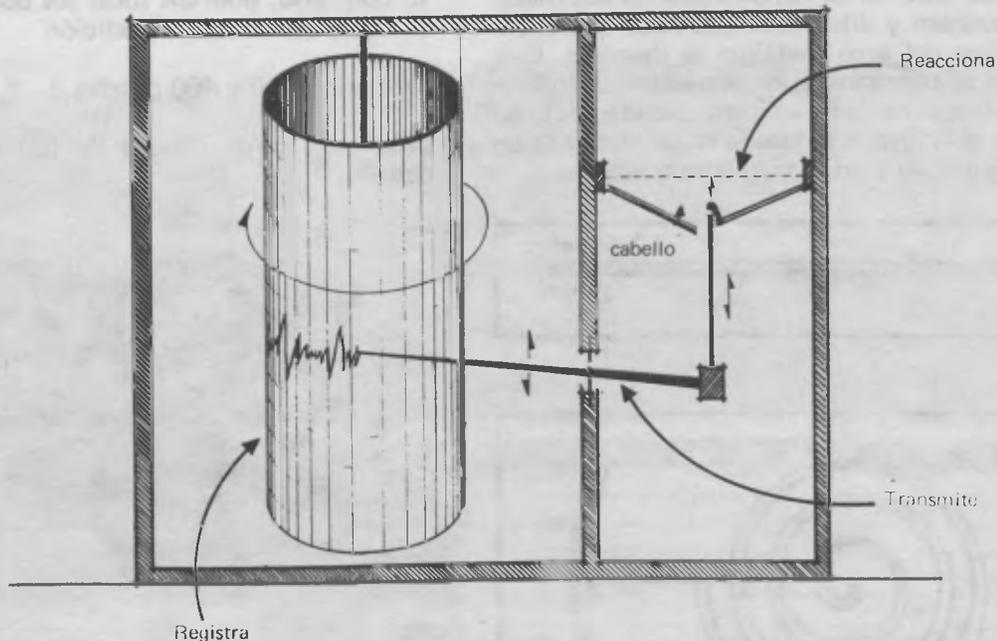
ciones de humedad relativa diarias, semanales, mensuales o bimestrales

### Desventajas:

- aparato muy frágil a los golpes
- casi todos los meses requiere calibraje con la ayuda de un sicrómetro o cepillando el mechón de cabellos con agua destilada (seguir las indicaciones del fabricante)

**Costo:** entre 250 y 500 dólares.

**Venta:** en algunas tiendas especializadas en instrumentos de precisión.



La mayoría de los higrógrafos vienen con un doble sistema de registro, tanto para la HR como para la temperatura. Nos referimos a los termohigrógrafos.

Es importante destacar que un higrógrafo, lo

mismo que un termohigrógrafo, aun cuando no esté calibrado, puede ofrecer informaciones interesantes, ya que a pesar de todo indicará si la HR es estable. Indicará igualmente la amplitud de las variaciones climáticas.

## 4.2 Termohigrógrafo

Estos aparatos miden y registran al mismo tiempo la HR y la temperatura. Esta última se mide por las variaciones de longitud que experimenta una tira compuesta de dos aleaciones diferentes: una es el Inconel cuya longitud no varía con los cambios de temperatura, y la otra es el latón que sí está sujeto a variaciones.

Estos dos metales están soldados juntos (Fig. 1) y enrollados en forma de espiral. Uno de los extremos del arco está fijo, mientras que el otro se encuentra en libertad (Fig. 2).

Con las variaciones de temperatura los dos metales se contraen y dilatan, lo que hace que el extremo libre del arco metálico se desplace. Esta variación es transmitida, directamente o por palanca, a una especie de lapicero que la asienta en una hoja de registro colocada en un cilindro que se mueve gracias a un movimiento mecánico.



Fig. 1



Fig. 2

### Ventajas:

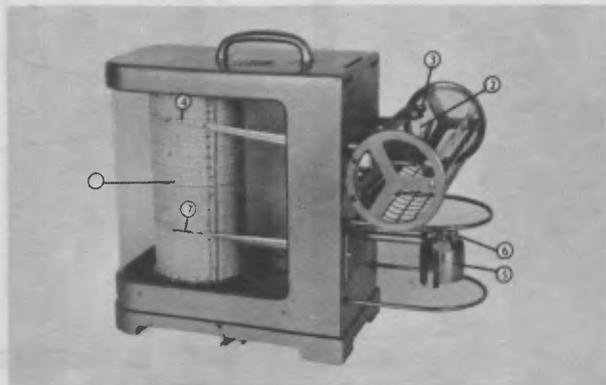
- registra la HR y la temperatura en ausencia del personal
- de acuerdo a las necesidades, registra las variaciones climáticas diarias, semanales, mensuales o bimestrales
- el análisis de los registros es un factor esencial para diagnosticar las causas del deterioro que sufren las colecciones y para encontrar la forma adecuada de combatirlo

### Desventajas:

- necesita calibraje mensual
- el instrumento debe ser colocado cerca de las obras y a la vez lejos de los visitantes que, de lo contrario, podrían tocar los botones de calibraje y alterar así la medición

**Costo:** entre 200 y 400 dólares.

**Venta:** en algunas tiendas de instrumentos de precisión.



Foto

1) cilindro cubierto con la hoja de registro 2) mechón de cabellos para la HR 3) botón de calibraje para la HR 4) lapicero para el registro de la HR 5) elemento metálico para la temperatura 6) botón de calibraje para la temperatura 7) lapicero para el registro de la temperatura.

### 4.3 Hoja de registro

La hoja de registro de un termohigrógrafo indica horizontalmente las horas y el día, y verticalmente la temperatura (sección superior) y la humedad relativa (sección inferior).

El registro diario indica que:

a las 16 horas HR = 45% t = 27°C

a las 21 horas HR = 78% t = 18°C

a las 3 horas HR = 95% t = 15°C

La HR continuará aumentando después de las 3 horas llegando a la saturación a eso de las 6 horas.

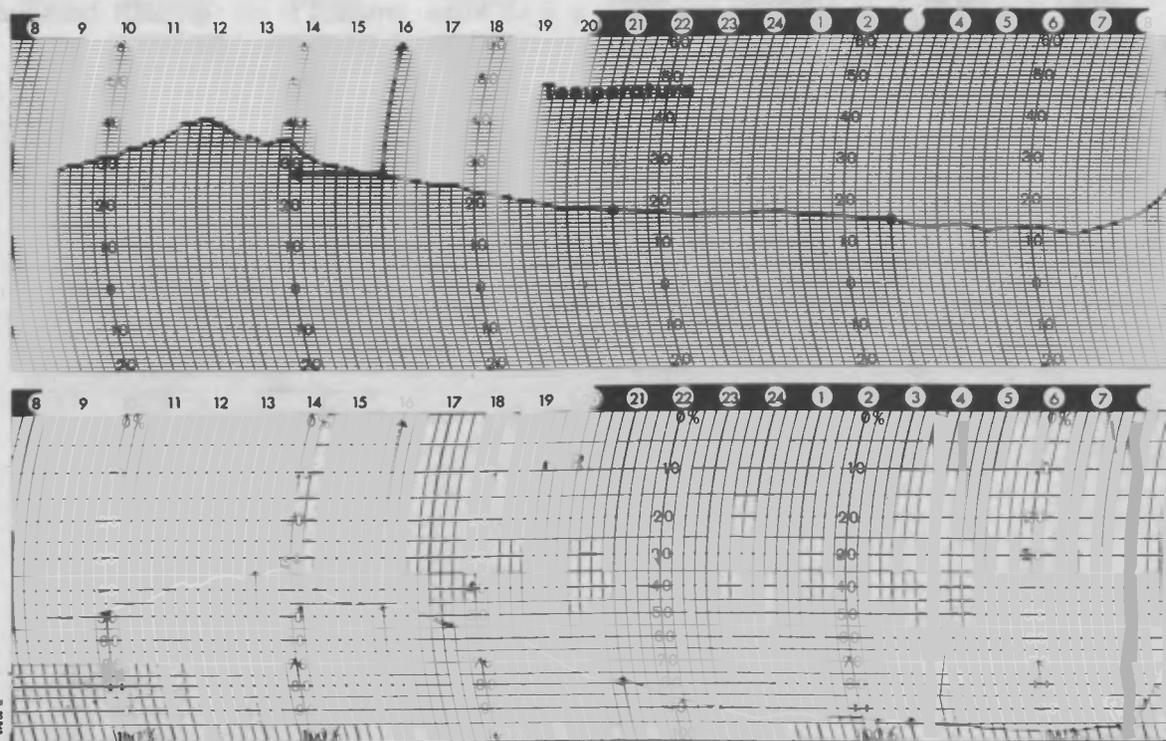
Examinemos ahora el registro semanal:

el miércoles a las 6 horas HR = 80% t = 13°C

el viernes a las 22 horas HR = 65% t = 17°C

el domingo a las 13 horas HR = 42% t = 24°C

**Nota:** Las hojas de registro varían de acuerdo a los fabricantes, e incluso cada uno de ellos fabrica hojas de registro diferentes, según los distintos tipos de instrumentos que se encuentran en el mercado.



Registro diario

Estadística de los datos de la estación de la zona de estudio, para el mes de mayo del 2012.

Los datos fueron obtenidos de la estación de la zona de estudio, para el mes de mayo del 2012. Los datos fueron obtenidos de la estación de la zona de estudio, para el mes de mayo del 2012.

Los datos fueron obtenidos de la estación de la zona de estudio, para el mes de mayo del 2012. Los datos fueron obtenidos de la estación de la zona de estudio, para el mes de mayo del 2012.

Los datos fueron obtenidos de la estación de la zona de estudio, para el mes de mayo del 2012. Los datos fueron obtenidos de la estación de la zona de estudio, para el mes de mayo del 2012.

Los datos fueron obtenidos de la estación de la zona de estudio, para el mes de mayo del 2012. Los datos fueron obtenidos de la estación de la zona de estudio, para el mes de mayo del 2012.

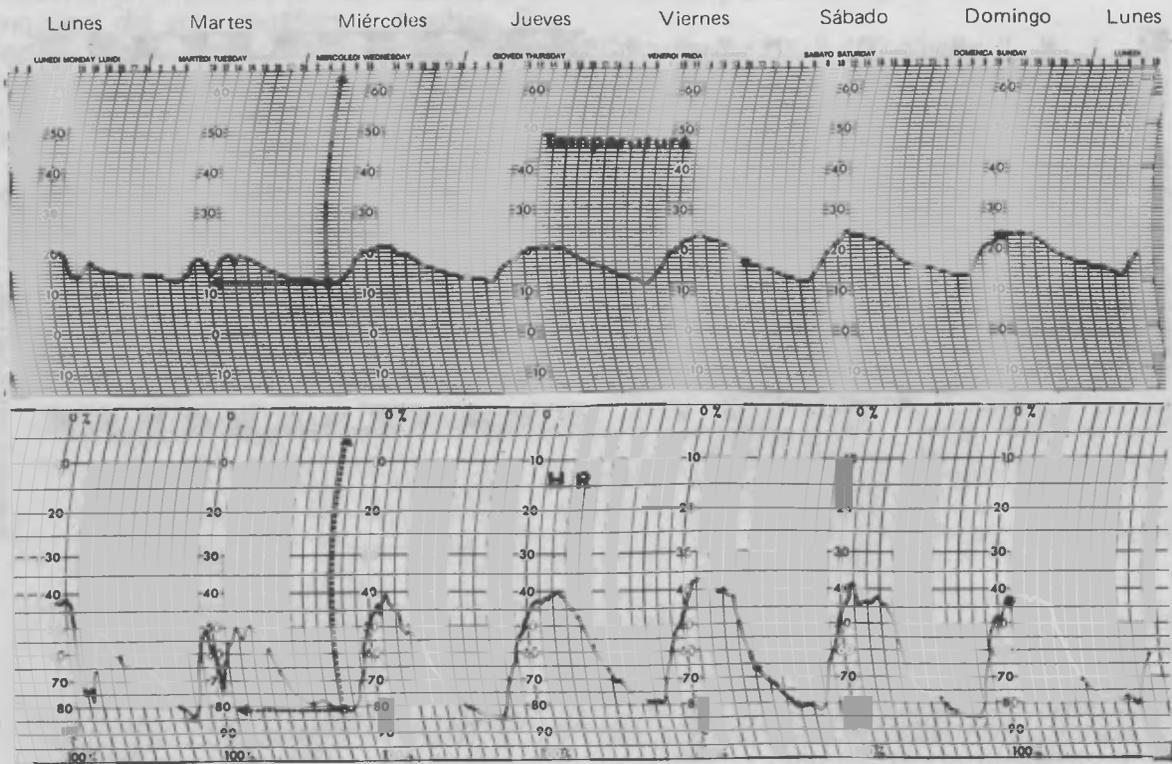
Estadística de los datos de la estación de la zona de estudio, para el mes de mayo del 2012.

Los datos fueron obtenidos de la estación de la zona de estudio, para el mes de mayo del 2012. Los datos fueron obtenidos de la estación de la zona de estudio, para el mes de mayo del 2012.

Los datos fueron obtenidos de la estación de la zona de estudio, para el mes de mayo del 2012. Los datos fueron obtenidos de la estación de la zona de estudio, para el mes de mayo del 2012.

Los datos fueron obtenidos de la estación de la zona de estudio, para el mes de mayo del 2012. Los datos fueron obtenidos de la estación de la zona de estudio, para el mes de mayo del 2012.

Los datos fueron obtenidos de la estación de la zona de estudio, para el mes de mayo del 2012. Los datos fueron obtenidos de la estación de la zona de estudio, para el mes de mayo del 2012.



Registro semanal

### 4.3.1 Variación de las condiciones climáticas en el exterior en días soleados y clima templado.

Se puede leer la temperatura (de  $-20^{\circ}\text{C}$  hasta  $+60^{\circ}\text{C}$ ) en la sección superior de la hoja diaria, y la HR (del  $0\%$  al  $100\%$ ) en la parte inferior de la misma.

**Temperatura:** En la mañana, entre las 9 horas y el mediodía, la temperatura aumenta de  $29^{\circ}\text{C}$  a  $41^{\circ}\text{C}$ ; después la temperatura desciende lentamente durante el mediodía y la tarde, para alcanzar la mínima de  $13^{\circ}\text{C}$  a las 7 horas de la mañana.

**Humedad Relativa:** En la mañana, entre las 9 y

las 14 horas, la HR disminuye del  $50\%$  al  $33\%$ ; después aumenta durante la tarde hasta el  $55\%$  a las 18 horas; asciende hasta el  $93\%$  a la medianoche, alcanzando el máximo del  $100\%$  (saturación) a las 6 horas de la mañana.

En la hoja semanal el registro diario se repite durante siete días consecutivos, es decir:

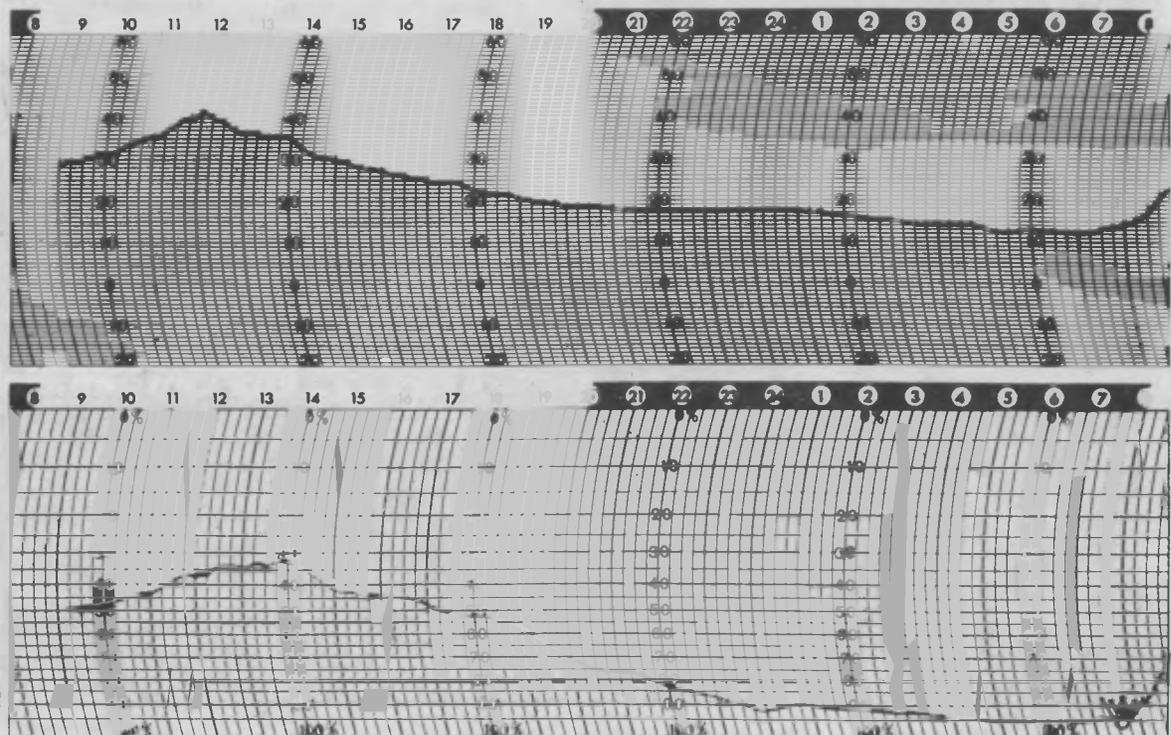
**temprano en la mañana:**

temperatura mínima ( $7^{\circ}\text{C} - 12^{\circ}\text{C}$ )  
humedad relativa ( $50\% - 100\%$ )

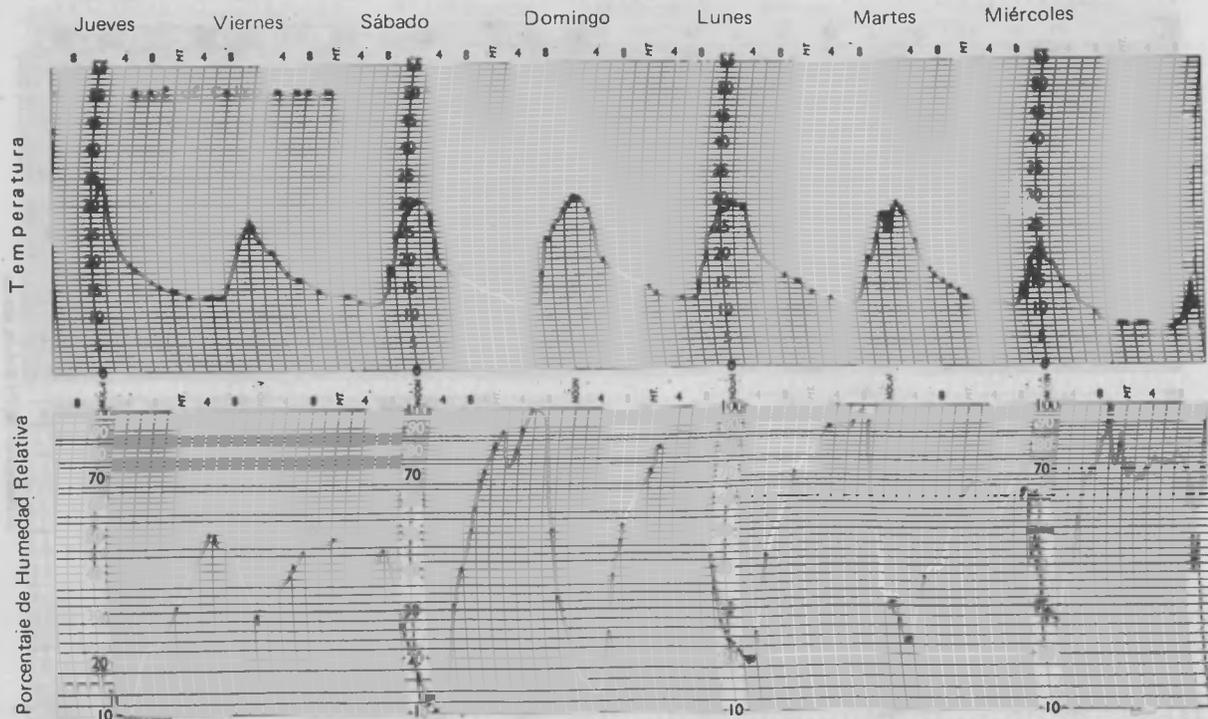
**hacia el mediodía:**

temperatura mínima ( $28^{\circ}\text{C} - 32^{\circ}\text{C}$ )  
humedad relativa ( $10\% - 28\%$ )

Este registro se efectuó en el techo del Museo de El Cairo en el mes de diciembre de 1980.



Registro diario



Registro semanal

### 4.3.2 Variación de las condiciones climáticas en el exterior en días cubiertos y clima templado.

#### REGISTRO DIARIO:

##### Temperatura

Antes del amanecer, la temperatura aumenta para alcanzar el máximo a las 14 horas ( $t = 18^{\circ}\text{C}$ ). Luego la temperatura empieza a descender hasta las 16 horas ( $t = 12^{\circ}\text{C}$ ). Es entonces que empieza a soplar un viento irregular que mantendrá la temperatura alrededor de los  $15^{\circ}\text{C}$  durante toda la noche.

##### Humedad Relativa

En la mañana la HR disminuye desde las 9 horas ( $91\%$ ) hasta las 14 horas ( $60\%$ ), alcanzando el  $75\%$  a las 16 horas. Hacia la medianoche el vien-

to caliente y seco hace que la HR disminuya al  $50\%$ . (Cf. ficha 4.3.1).

#### REGISTRO SEMANAL:

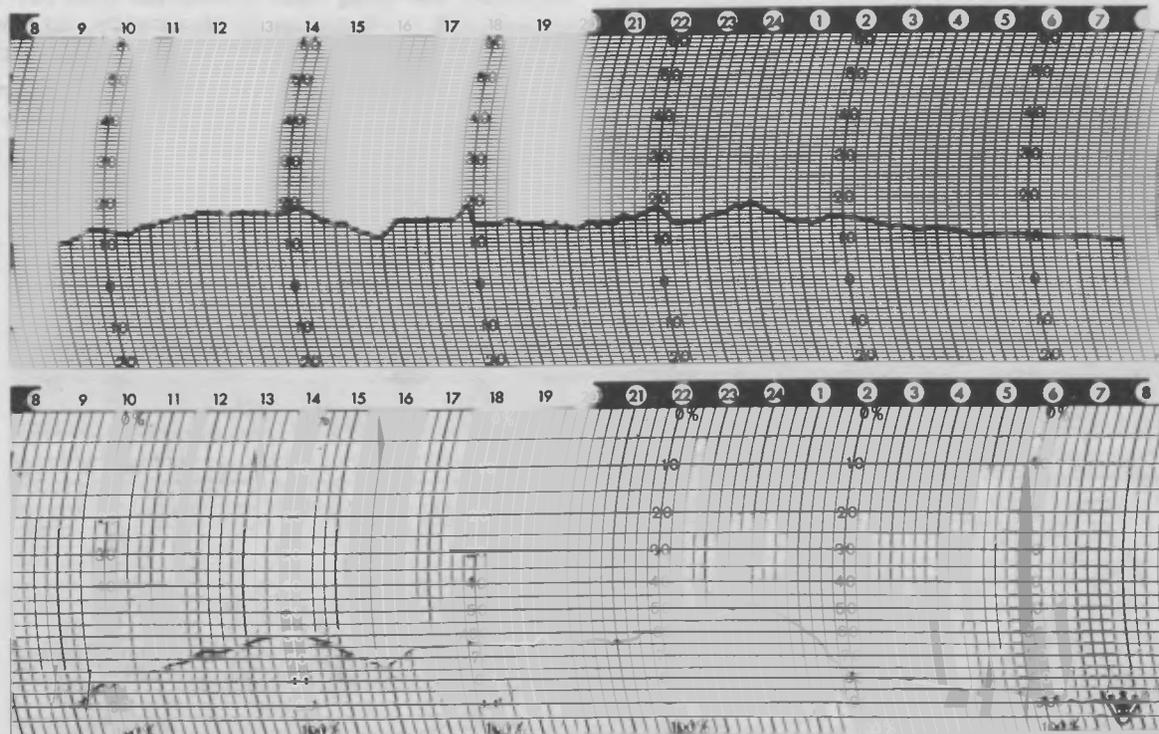
##### Temperatura

Las variaciones de temperatura difieren enormemente de un día a otro. Por ejemplo, el viernes la temperatura permanece estable entre los  $10^{\circ}\text{C}$  y  $12^{\circ}\text{C}$ , mientras que el martes varía entre los  $12^{\circ}\text{C}$  y los  $26^{\circ}\text{C}$ .

##### Humedad Relativa

Las variaciones de HR son bastante irregulares. Por ejemplo, el jueves la HR fluctúa entre el  $55\%$  y el  $100\%$ , y el domingo entre el  $27\%$  y el  $70\%$ .

Nótese que el miércoles a las 14 horas la temperatura cae y la HR aumenta abruptamente. Esto es producto de las fuertes lluvias o aguaceros.



Registro diario

REGISTRO SEMANAL

Temperatura

Las variaciones de temperatura durante la semana en un día a otro, por ejemplo, se vieron en los días 10 y 11, cuando bajó de 15°C a 10°C y al día siguiente volvió a subir a 15°C.

El promedio de la HR fue de 15°C y la HR mínima de 10°C.

El promedio de la HR fue de 15°C y la HR mínima de 10°C.

El promedio de la HR fue de 15°C y la HR mínima de 10°C.

El promedio de la HR fue de 15°C y la HR mínima de 10°C.

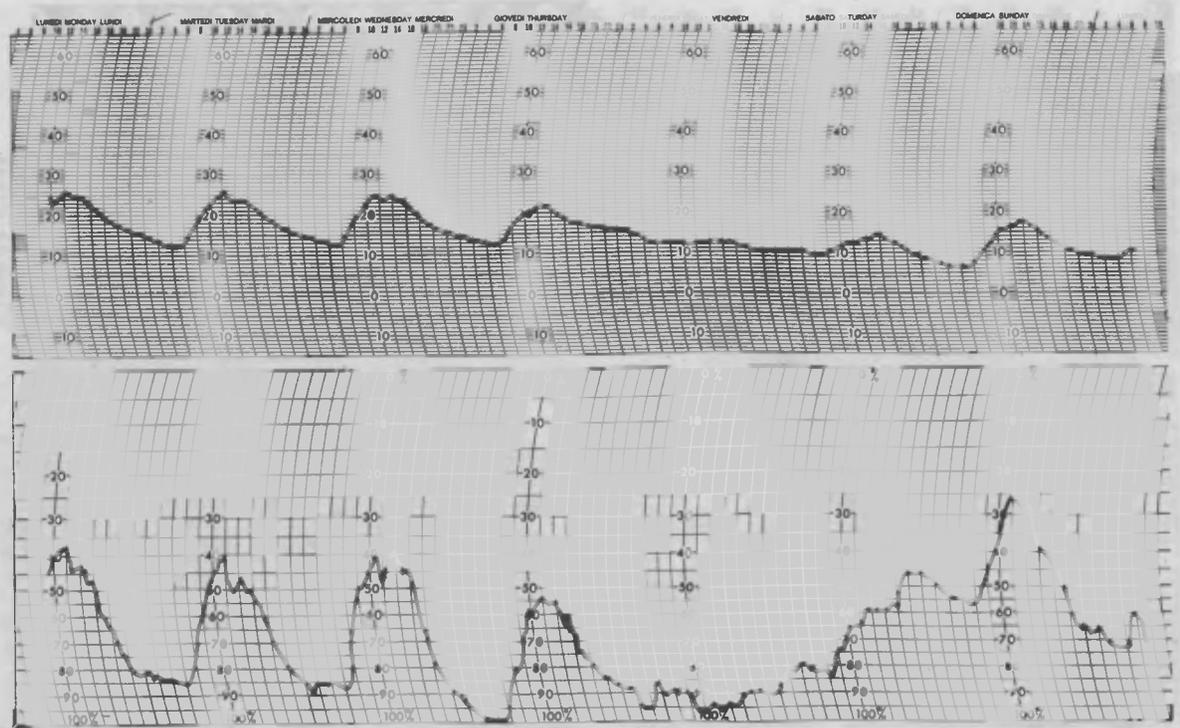
REGISTRO DIARIO

Temperatura

El promedio de la HR fue de 15°C y la HR mínima de 10°C.

Temperatura

El promedio de la HR fue de 15°C y la HR mínima de 10°C.



Registro semanal

### 4.3.3 Variación de las condiciones climáticas en el interior de un edificio y en el interior de una vitrina

En esta hoja se encuentra el registro hecho en el interior de un edificio. Resultará interesante compararlo con el de su exterior durante el mismo período (ficha 4.3.1) (en línea intermitente).

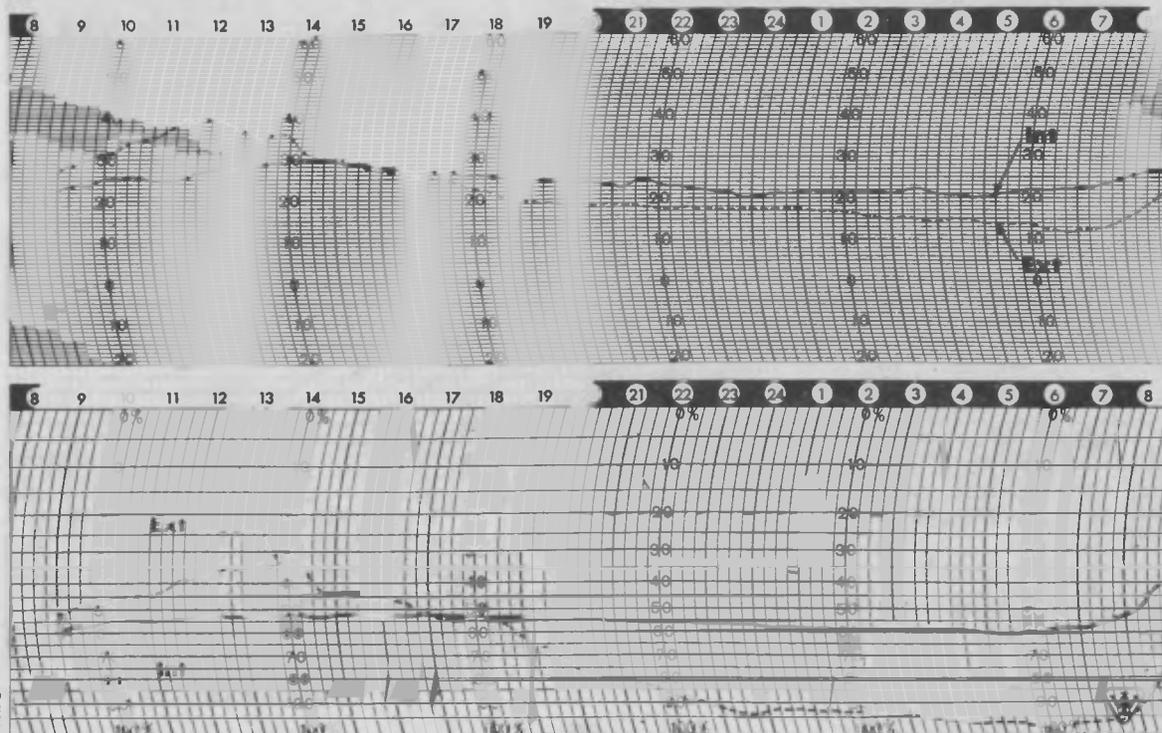
temperatura exterior	máxima 41° a las 12h
	mínima 13° a las 7h
temperatura interior	máxima 29° a las 15h
	mínima 20° a las 5h
HR exterior	máxima 100%/o a las 6h
	mínima 34%/o a las 14h
HR interior	máxima 65%/o a las 6h
	mínima 41%/o a las 12h

Mientras que en el exterior la HR varía en un 66%/o, en el interior la variación no es mayor del 10%/o. Esto demuestra cuán peligroso puede ser abrir las ventanas de un museo sin el debido control.

La llegada abrupta de aire con una HR muy diferente puede ocasionar a las colecciones daños irreparables. Esto explica el fenómeno bien conocido en arqueología de la desintegración de los objetos contenidos en una tumba al momento de su apertura.

El diagrama mensual indica también las variaciones climáticas durante un mes en la sala de un museo (línea intermitente) y en una vitrina ubicada en esa misma sala (línea continual). Es interesante remarcar que los cambios de temperatura en el interior de la vitrina continúan exactamente, pero con un pequeño retraso, las variaciones de la temperatura exterior, a pesar de que la vitrina es de vidrio atérmico.

De otro lado, la variación de la HR en el interior de la vitrina es del todo estable y muy poco afectada por la variación de la HR de la sala. Es preciso señalar que la vitrina en cuestión ha sido previamente bien sellada.



Variaciones dentro de una vitrina

La figura muestra el comportamiento de la temperatura ambiente en un edificio durante un período de 31 días. El gráfico está dividido en tres secciones correspondientes a los días 1-12, 13-24 y 25-31. En la parte superior del gráfico se muestra la temperatura ambiente (T<sub>a</sub>) en grados Celsius, con una escala que va de 10 a 30. En la parte inferior se muestran dos series de datos: la temperatura exterior (T<sub>e</sub>) y la temperatura interior (T<sub>i</sub>), ambas en grados Celsius, con una escala que va de 10 a 30. La temperatura exterior (T<sub>e</sub>) muestra una variación diaria regular, con picos que alcanzan hasta 30°C y mínimos que bajan hasta 10°C. La temperatura interior (T<sub>i</sub>) muestra una variación mucho menor, manteniéndose entre 20°C y 25°C, lo que indica un buen aislamiento térmico del edificio.

El diagrama muestra el comportamiento de la temperatura ambiente en un edificio durante un período de 31 días. El gráfico está dividido en tres secciones correspondientes a los días 1-12, 13-24 y 25-31. En la parte superior del gráfico se muestra la temperatura ambiente (T<sub>a</sub>) en grados Celsius, con una escala que va de 10 a 30. En la parte inferior se muestran dos series de datos: la temperatura exterior (T<sub>e</sub>) y la temperatura interior (T<sub>i</sub>), ambas en grados Celsius, con una escala que va de 10 a 30. La temperatura exterior (T<sub>e</sub>) muestra una variación diaria regular, con picos que alcanzan hasta 30°C y mínimos que bajan hasta 10°C. La temperatura interior (T<sub>i</sub>) muestra una variación mucho menor, manteniéndose entre 20°C y 25°C, lo que indica un buen aislamiento térmico del edificio.

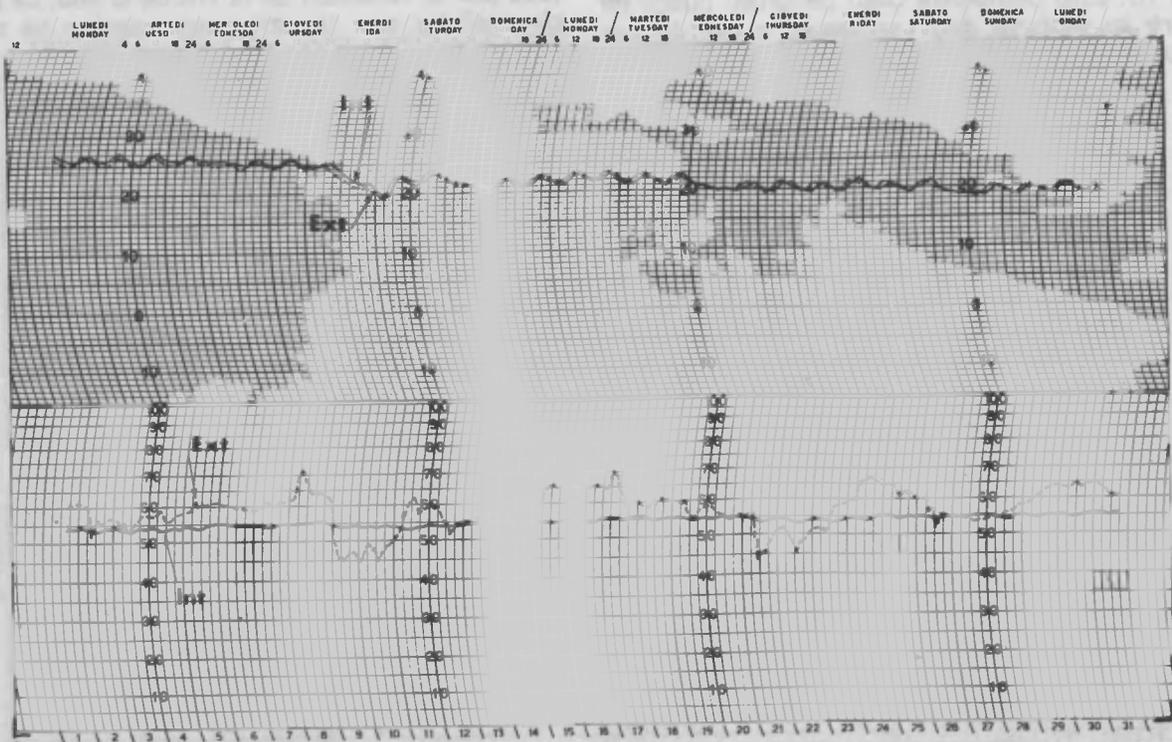
De este modo, se observa que la temperatura ambiente en el interior del edificio es mucho más estable que la temperatura exterior, lo que indica un buen aislamiento térmico del edificio. Este comportamiento es el resultado de la capacidad del edificio para almacenar calor y liberarlo cuando es necesario, lo que ayuda a mantener una temperatura constante en el interior.

4.3.3. Variación de las condiciones climáticas en el interior de un edificio y en el exterior de este último.

En esta parte se muestran los registros de las condiciones climáticas en el interior de un edificio. El gráfico muestra la temperatura ambiente (T<sub>a</sub>) en grados Celsius, con una escala que va de 10 a 30. El gráfico está dividido en tres secciones correspondientes a los días 1-12, 13-24 y 25-31. En la parte superior del gráfico se muestra la temperatura ambiente (T<sub>a</sub>) en grados Celsius, con una escala que va de 10 a 30. En la parte inferior se muestran dos series de datos: la temperatura exterior (T<sub>e</sub>) y la temperatura interior (T<sub>i</sub>), ambas en grados Celsius, con una escala que va de 10 a 30. La temperatura exterior (T<sub>e</sub>) muestra una variación diaria regular, con picos que alcanzan hasta 30°C y mínimos que bajan hasta 10°C. La temperatura interior (T<sub>i</sub>) muestra una variación mucho menor, manteniéndose entre 20°C y 25°C, lo que indica un buen aislamiento térmico del edificio.

El diagrama muestra el comportamiento de la temperatura ambiente en un edificio durante un período de 31 días. El gráfico está dividido en tres secciones correspondientes a los días 1-12, 13-24 y 25-31. En la parte superior del gráfico se muestra la temperatura ambiente (T<sub>a</sub>) en grados Celsius, con una escala que va de 10 a 30. En la parte inferior se muestran dos series de datos: la temperatura exterior (T<sub>e</sub>) y la temperatura interior (T<sub>i</sub>), ambas en grados Celsius, con una escala que va de 10 a 30. La temperatura exterior (T<sub>e</sub>) muestra una variación diaria regular, con picos que alcanzan hasta 30°C y mínimos que bajan hasta 10°C. La temperatura interior (T<sub>i</sub>) muestra una variación mucho menor, manteniéndose entre 20°C y 25°C, lo que indica un buen aislamiento térmico del edificio.

De este modo, se observa que la temperatura ambiente en el interior del edificio es mucho más estable que la temperatura exterior, lo que indica un buen aislamiento térmico del edificio. Este comportamiento es el resultado de la capacidad del edificio para almacenar calor y liberarlo cuando es necesario, lo que ayuda a mantener una temperatura constante en el interior.



Variaciones dentro de un edificio

## 5. DIAGRAMA DEL AIRE HUMEDO O DIAGRAMA SICROMETRICO

En un volumen de aire, los valores de la HR, de la HA y de la temperatura se encuentran en relación mutua. Conociendo de ellos dos valores cualesquiera, podremos, gracias a este diagrama (1), descubrir el tercero.

Este diagrama, a primera vista complicado y poco atractivo, reúne toda la información sobre la saturación, condensación, HA y HR tratados hasta aquí.

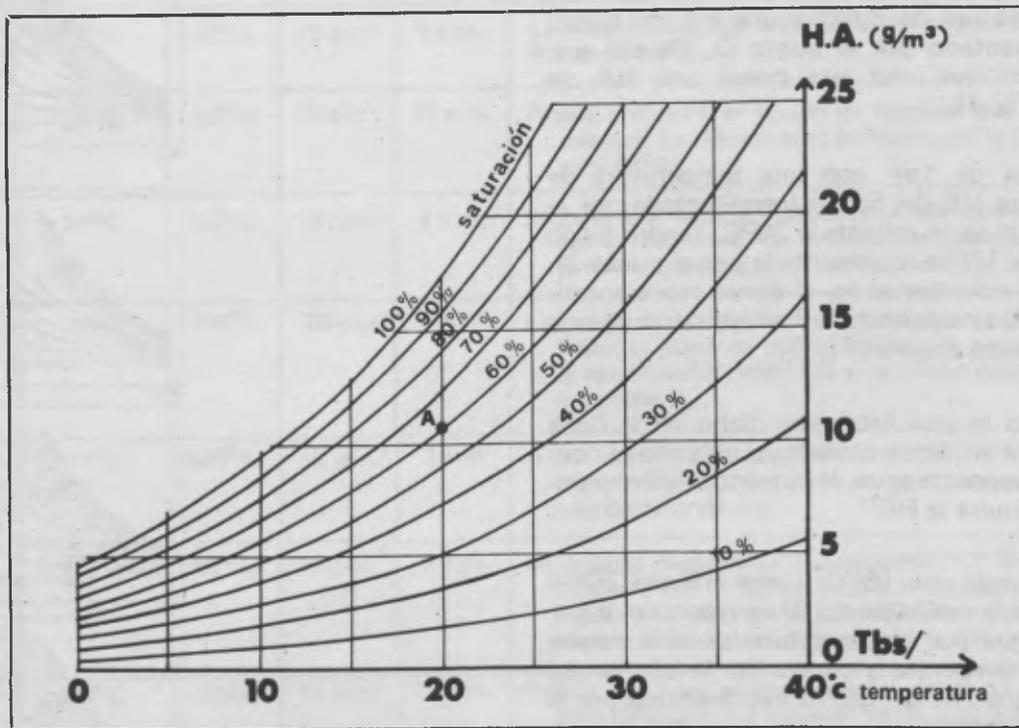
Aprendamos, pues, a utilizarlo.

En la abscisa figura la temperatura del aire Tbs (o temperatura del bulbo seco).

En la ordenada tenemos el contenido de vapor de agua en gramos por metro cúbico de aire (o humedad absoluta).

Las 10 curvas azules ascendentes indican la HR del 0% al 100%.

Por ejemplo, una sala que cuenta con las siguientes condiciones climáticas:  $t = 20^{\circ}\text{C}$ , HR = 60%, HA =  $11 \text{ g/m}^3$ , estará representada por el punto A (sigue en la página siguiente).



(1) Reproducido de "Museum Environment" de Garry Thomson, 1978, con la amable autorización de Butterworth & Co. (Publishers) Ltd.

## 5.1 Utilización del diagrama del aire húmedo

Las condiciones climáticas de una vitrina, de una sala, de un depósito, de un volumen de aire cualquiera, pueden ser localizadas en el diagrama psicrométrico. Así, un volumen de aire con una temperatura de  $18^{\circ}\text{C}$  será localizado en la vertical azul que llega al punto  $t = 18^{\circ}\text{C}$  (Fig. 1).

Un volumen de aire con una HA de  $7\text{g}/\text{m}^3$  será localizado en la horizontal azul que llega al punto  $\text{HA} = 7\text{g}/\text{m}^3$  (Fig. 2). Un volumen de aire con una HR del  $54\%$  será ubicado en la curva azul del  $54\%$  (Fig. 3). Un volumen de aire con una temperatura de  $30^{\circ}\text{C}$  y una HR del  $60\%$  será representado por el punto O. De allí que deduzcamos que este aire posee una HA de  $19\text{g}/\text{m}^3$  (Fig. 4).

Una vitrina de  $1\text{m}^3$  con una temperatura de  $10^{\circ}\text{C}$  y una HR del  $55\%$  (representada por el punto 1), si se le calienta a  $30^{\circ}\text{C}$ , tendrá luego una HR del  $17\%$  (representada por el punto 2). Durante el calentamiento, el punto representativo se desplaza siguiendo la horizontal ya que la HA permanece estable (Fig. 5).

Esto ilustra lo que habíamos dicho en la ficha 2.4: "en un volumen cerrado, si no varía el contenido de vapor de agua, al aumentar la temperatura, disminuirá la HR".

Si en una sala con  $25^{\circ}\text{C}$  y una HR del  $30\%$  (representada por el punto 3) se vaporizan 8 gramos de agua por metro cúbico de aire manteniendo la temperatura constante, la sala tendrá entonces una HR del  $60\%$  (representada por el punto 4). Durante esta adición de vapor de agua, el punto representativo se desplaza siguiendo la vertical ya que la temperatura permanece constante (Fig. 6) (Cf. ejercicios 4, 5 y 6).

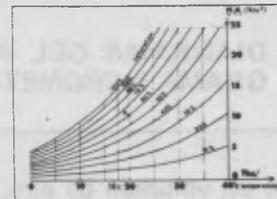


Fig. 1

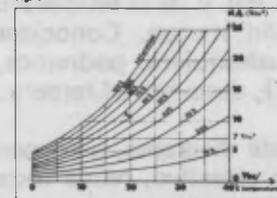


Fig. 2

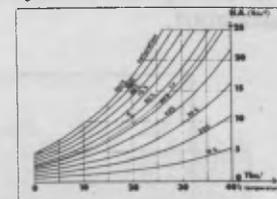


Fig. 3

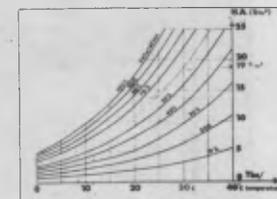


Fig. 4

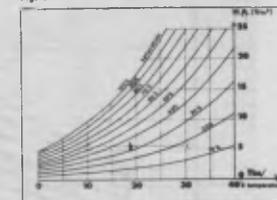


Fig. 5

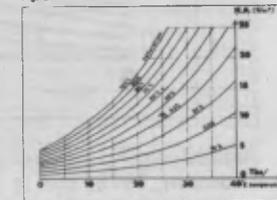
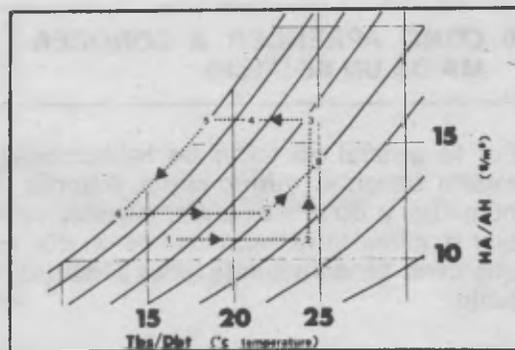


Fig. 6

## 5.2 Variaciones climáticas en una vitrina

Este gráfico representa las variaciones climáticas que podrían ocurrir en una vitrina de vidrio poco hermético en el transcurso de un día.



Punto	temperatura	HR	HA	Hora	causa de las variaciones
1	16°C	76 <sup>o</sup> /o	11 g/m <sup>3</sup>	8 a.m.	Se conecta la calefacción antes de que lleguen los visitantes.
2	24°C	46 <sup>o</sup> /o	11 g/m <sup>3</sup>	9 a.m.	La temperatura sube a 24°C, la HA se mantiene pero la HR cae al 46 <sup>o</sup> /o.
3	24°C	66 <sup>o</sup> /o	16 g/m <sup>3</sup>	10 a.m.	Pasada una hora, el equipo de limpieza lava el piso de mármol. La HA aumenta lo mismo que la HR que llega al 66 <sup>o</sup> /o.
4	21°C	85 <sup>o</sup> /o	16 g/m <sup>3</sup>	4 p.m.	Después de 3 horas se desconecta la calefacción por razones de economía. La temperatura descendiendo a 21°C, la HA se mantiene pero la HR aumenta al 85 <sup>o</sup> /o.
5	18°C	100 <sup>o</sup> /o	16 g/m <sup>3</sup>	8 p.m.	La temperatura sigue bajando hasta llegar a 18°C y, por tanto, al punto de rocío (100 <sup>o</sup> /o), lo que indica que la condensación empezará si la temperatura continúa descendiendo.
6	13°C	100 <sup>o</sup> /o	12 g/m <sup>3</sup>	2 a.m.	Sigue bajando la temperatura. t = 13°C, HR = 100 <sup>o</sup> /o, HA = 12g/m <sup>3</sup> . 4 gramos de agua corriendo por los vidrios de la vitrina.
7	22°C	60 <sup>o</sup> /o	12 g/m <sup>3</sup>	9 a.m.	Se conecta nuevamente la calefacción. t = 22°C, HA = 12g/m <sup>3</sup> , HR = 60 <sup>o</sup> /o. Pasa el responsable de las colecciones y dice que el aumento de temperatura debido a la calefacción hará descender la HR.
8	25°C	60 <sup>o</sup> /o	14 g/m <sup>3</sup>	10 a.m.	Pasada una hora, el responsable ha puesto en marcha un humidificador que vaporiza 2g. de agua por metro cúbico. Ahora la temperatura es de 25°C, la HR se mantiene al 60 <sup>o</sup> /o, lo que evitará el deterioro de las colecciones.

## 6. COMO APRENDER A CONOCER EL CLIMA DE UN EDIFICIO

Por lo general no todas las habitaciones de un museo tienen el mismo clima. Algunas son más húmedas y otras más secas. Algunas verán cambiar su clima en el transcurso de un día, mientras que otras tendrán condiciones climáticas más estables.

Resulta, pues, evidente que algunas habitaciones de museo son más adecuadas para la conservación de determinadas colecciones, a diferencia de otras que no deberán utilizarse para este propósito sino para distinto tipo de servicios (área de recepción, mantenimiento, servicios educativos, etc.).

Será, entonces, importante descubrir cómo "vive" un edificio desde el punto de vista climático y delimitar las zonas que tienen una

- humedad variable
- humedad elevada estable
- humedad media estable
- humedad baja estable

### Estudio Preliminar

El objetivo del estudio preliminar consiste en descubrir el número de zonas climáticas en que un edificio puede ser dividido.

Este estudio durará de dos días a un mes, dependiendo del tamaño del local y de la experiencia del operador.

Para el efecto se deberán utilizar por lo menos dos termohigrógrafos. Imaginemos que el museo esté constituido de 10 salas (de exposición y de depósito). Si sólo se cuenta con dos instrumentos, se les colocará, después de haber sido debidamente calibrados, en el centro de cada una de dos piezas contiguas A y B. Si después de 24 horas los registros son idénticos, entonces sabremos

que las piezas A y B no forman climáticamente más que una zona, y que el registro de la sala es representativo de la zona A - B.

Coloquemos ahora los instrumentos en las salas A y C. Si después de 24 horas los registros de A y C son idénticos, sabremos que las piezas A y C forman climáticamente una sola zona, y que el registro de la sala A es representativo de la zona A - B - C.

De otro lado, si los registros en las salas A y C son diferentes, habremos descubierto que existen dos zonas climáticas: las zonas A - B y la zona C.

Poco a poco iremos descubriendo el número de zonas climáticas existentes en el museo. Por suerte es muy raro que en un museo hayan más de tres zonas distintas.

En los países que cuentan con calefacción central este estudio debería ser realizado tanto en invierno como en verano.

Resulta evidente que el estudio se efectuará con mayor presteza si existe un número mayor de termohigrógrafos.

### Estudio a Largo Plazo

Este estudio tiene por objeto ver cómo las variaciones climáticas que existen al interior del museo son transmitidas y mitigadas en las distintas zonas definidas durante el estudio preliminar.

Para el efecto, es necesario un termohigrógrafo para cada zona previamente definida a fin de medir las variaciones climáticas en el exterior del museo.

También se podrá colocar un termohigrógrafo dentro de una vitrina para observar cómo las variaciones climáticas que existen en una sala son transmitidas y mitigadas por dicha vitrina.

Se aconseja utilizar termohigrógrafos mensuales; bastará, sin embargo, con los semanales. El estudio durará un año, al término del cual será posible comprender la "vida climática" del museo, lo que nos permitirá:

- asignar las zonas más estables a las colecciones más sensibles;
- decidir si hay que humedecer una zona durante determinado período del año;
- decidir si hay que deshumedecer una zona durante determinado período del año;
- mejorar el aislamiento térmico del edificio;
- mejorar el hermetismo de las vitrinas;
- instalar aire acondicionado en el edificio;
- hallar otro tipo de solución que permita exhibir las colecciones en las mejores condiciones climáticas.

---

## 7. HUMEDAD RELATIVA ACONSEJADA PARA UNA BUENA CONSERVACION DE LOS OBJETOS

---

Considerando que es esencial que la HR sea lo más estable posible, damos a continuación la escala de valores generalmente recomendados para cada tipo de material.

### Entre el 0<sup>o</sup>/o y el 45<sup>o</sup>/o, objetos inorgánicos:

metal  
piedra  
cerámica

### Entre el 42<sup>o</sup>/o y el 45<sup>o</sup>/o, objetos inorgánicos:

vidrio sensible

### Entre el 45<sup>o</sup>/o y el 55<sup>o</sup>/o, objetos inorgánicos: fósiles

### Entre el 50<sup>o</sup>/o y el 65<sup>o</sup>/o, objetos orgánicos:

madera

papel  
textil  
marfil  
cuero  
pergamino  
pintura  
especímenes de la historia natural.

### Al 100<sup>o</sup>/o, objetos provenientes de excavaciones húmedas:

piedra  
mosaico  
cerámica  
madera

**Nota:** Las películas (films) presentan un serio problema. Se han hecho al respecto algunos estudios para determinar las mejores condiciones para su conservación. Los niveles actuales propuestos son:

- las películas con base de nitrato requieren una HR del 40<sup>o</sup>/o al 60<sup>o</sup>/o y entre 2<sup>o</sup>C y 6<sup>o</sup>C;
- las películas en blanco y negro con base de acetato, poliéster o video requieren una HR del 60<sup>o</sup>/o y una t = 12<sup>o</sup>C;
- Las películas a color requieren una HR inferior al 30<sup>o</sup>/o y una t = -5<sup>o</sup>C.

Esta tabla exige algunas precisiones así como las siguientes reglas de conducta.

1) Algunos objetos pueden ser bien estabilizados y conservados perfectamente en condiciones muy diferentes a las aquí indicadas. Un repentino cambio de clima bien podría dar inicio a un proceso de deterioro.

2) Cuando un objeto orgánico sensible permanece estable en un medio determinado, y si estas condiciones climáticas (sean las que fueren) se mantienen, los riesgos de deterioro se verán reducidos al mínimo. Si es inevitable el cambio de dichas condiciones (transporte dentro del museo, exposición temporal, etc.), ha-

brá que hacerlo lentamente. El período de re-equilibrio puede tomar algunos años si es que se quieren evitar los riesgos.

- 3) Los objetos que han absorbido sales del suelo (metales, ceramios, piedras) tendrán que ser desalados antes de que se les coloque en el nivel de humedad recomendado.
- 4) Cuanto más se deteriore un objeto, más reaccionará a las condiciones climáticas que le son adversas.
- 5) En el caso de un objeto compuesto, hay que tratar de mantener la HR recomendada para el material más sensible.
- 6) Evitar siempre las variaciones bruscas de la HR.
- 7) Es mejor una variación importante y lenta que variaciones débiles y bruscas.
- 8) En la escala de HR propuesta para los distintos tipos de objetos, el conservador deberá escoger un nivel de HR determinado, a fin de conservar sus colecciones y de mantenerlas estables. Asimismo, el conservador economizará esfuerzos y energías si llega a mantener en el interior de su museo condiciones lo más semejantes a las exteriores.

Por ejemplo, en una región seca, se podrá escoger para las colecciones de madera una HR del 50% y, por el contrario, en una región húmeda, se optará por una HR del 65%.

---

## 8. CONCLUSIONES

---

La medición de la humedad relativa proporciona información capital a todo aquél que desee comprender por qué a veces se deterioran las colecciones que tiene a su cargo.

Pero una medición puntual no es suficiente. Para lograr un diagnóstico exacto es preciso conocer y registrar las variaciones de la HR y de la temperatura. **Estos registros deberán cubrir por lo menos el período de un año.**

El primer lugar en que estos registros deben efectuarse es en los depósitos en donde los museos hacen acopio de un gran número de objetos, a menudo en condiciones bastante precarias. También se hace imperativo realizar estos registros en las mismas salas y, si es posible, cerca de las obras más sensibles.

- Sólo el análisis de estos registros permitirá intervenir eficazmente para estabilizar la HR al nivel deseado y así proteger mejor las colecciones.
- Únicamente el análisis de dichos registros permitirá decidir científicamente si en el futuro un objeto puede ser prestado para una exhibición temporal y las condiciones en las que deberá conservarse.

**El deterioro de las colecciones no podrá ser prevenido sin el registro de la humedad relativa.**

## EJERCICIOS

### Ejercicio no. 1

Si se sabe que la saturación es de  $31 \text{ g/m}^3$  a  $30^\circ\text{C}$ ,  $18 \text{ g/m}^3$  a  $20^\circ\text{C}$ ,  $10 \text{ g/m}^3$  a  $10^\circ\text{C}$ , ¿cuáles serán los valores de la HR en un vitrina de un metro cúbico que contiene 6 gramos de vapor de agua a  $10^\circ\text{C}$ , y que se calienta a  $30^\circ\text{C}$  por un sistema de iluminación instalado por error en el interior de la vitrina?

- a) a  $10^\circ\text{C}$  HR =
- b) a  $20^\circ\text{C}$  HR =
- c) a  $30^\circ\text{C}$  HR =

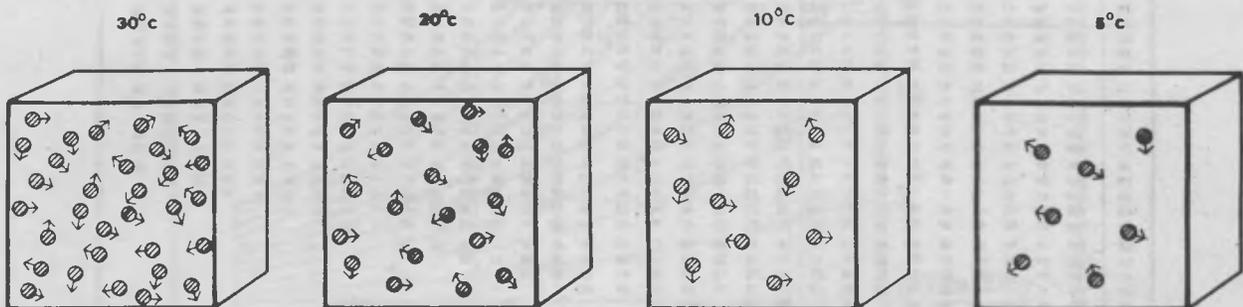
### Ejercicio no. 3

A partir de los siguientes pares de temperatura, hallar la HR correspondiente utilizando la tabla sicrométrica:

- a)  $T_{bs} = 14^\circ\text{C}$      $T_{bh} = 11^\circ\text{C}$     HR =
- b)  $T_{bs} = 18^\circ\text{C}$      $T_{bh} = 15^\circ\text{C}$     HR =
- c)  $T_{bs} = 24^\circ\text{C}$      $T_{bh} = 21^\circ\text{C}$     HR =
- d)  $T_{bs} = 34^\circ\text{C}$      $T_{bh} = 31^\circ\text{C}$     HR =
- e)  $T_{bs} = 22^\circ\text{C}$      $T_{bh} = 11^\circ\text{C}$     HR =
- f)  $T_{bs} = 9^\circ\text{C}$      $T_{bh} = 3^\circ\text{C}$     HR =
- g)  $T_{bs} = 25^\circ\text{C}$      $T_{bh} = 15^\circ\text{C}$     HR =
- h)  $T_{bs} = 25^\circ\text{C}$      $T_{bh} = 20^\circ\text{C}$     HR =
- i)  $T_{bs} = 25^\circ\text{C}$      $T_{bh} = 24^\circ\text{C}$     HR =
- j)  $T_{bs} = 25^\circ\text{C}$      $T_{bh} = 25^\circ\text{C}$     HR =
- k)  $T_{bs} = 18^\circ\text{C}$      $T_{bh} = 19^\circ\text{C}$     HR =

### Ejercicio no.2

- a) ¿Cuál es la HA de una vitrina A de un metro cúbico a  $10^\circ\text{C}$  cuya HR es del  $60\%$ ?
- b) ¿Cuál es la HA de una vitrina B de un metro cúbico a  $20^\circ\text{C}$  cuya HR es del  $60\%$ ?
- c) ¿Cuál es la HA de una vitrina C de un metro cúbico a  $30^\circ\text{C}$  cuya HR es del  $60\%$ ?
- d) ¿Qué hay que hacer para mantener estable la HR al  $60\%$  si la vitrina B se calienta de  $20^\circ\text{C}$  a  $30^\circ\text{C}$ ?



### Ejercicio no. 4

La Tbs, la HA y la HR están íntimamente ligadas. Si se conocen dos de ellas, será fácil encontrar la tercera.

A partir de los valores dados, hallar el valor desconocido:

- a) Tbs = 15°C    HR = 60°/o    HA =
- b) Tbs = 25°C    HR = 35°/o    HA =
- c) Tbs = 20°C    HR = 30°/o    HA =
- d) Tbs = 20°C    HR = 70°/o    HA =
- e) Tbs = 25°C    HA = 24 g/m<sup>3</sup>    HR =
- f) Tbs = 17°C    HA = 7 g/m<sup>3</sup>    HR =
- g) Tbs = 20°C    HA = 20 g/m<sup>3</sup>    HR =

### Ejercicio no. 5

Ubicar en el diagrama el punto A que representa una vitrina a t = 15°C y HR = 60°/o.

- a) ¿Qué sucede si se le calienta a 25°C?
- b) Si la vitrina contiene bronce con una corrosión inestable, ¿será perjudicial la calefacción?
- c) ¿Qué riesgos se corren si esta vitrina contiene estatuas de madera polícroma?
- d) ¿Qué se tendría que hacer para evitar estos riesgos?

	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5	13.0	13.5	14.0	14.5	15.0		
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
0	100	91	83	75	67	61	54	48	42	37	31	27	22	18	14	10	7	4	1														
1	100	92	83	76	69	63	56	50	44	39	34	30	25	21	17	14	10	7	4	1													
2	100	92	84	77	70	64	58	52	47	42	37	33	28	24	21	17	14	11	8	5	2												
3	100	93	85	78	72	66	60	54	49	44	39	35	31	27	23	20	17	14	11	8	6	3	1										
4	100	93	86	79	73	67	61	56	51	46	42	37	33	30	26	23	20	17	14	11	9	7	4	2									
5	100	93	86	80	74	68	63	57	53	48	44	40	36	32	29	25	22	19	17	14	12	10	7	5	3	2							
6	100	93	87	81	75	69	64	59	54	50	46	42	38	34	31	28	25	22	19	17	15	12	10	8	6	5	3	1					
7	100	94	87	81	76	70	65	60	56	52	48	44	40	37	33	30	27	24	22	19	17	15	13	11	9	7	6	4	3	1			
8	100	94	88	82	76	71	66	62	57	53	49	46	42	39	35	32	29	27	24	22	19	17	15	13	11	10	8	6	5	4	2		
9	100	94	88	83	77	72	68	63	59	55	51	47	44	40	37	34	32	29	26	24	22	20	18	16	14	12	10	9	7	6	5		
10	100	94	88	83	78	73	69	64	60	56	52	49	45	42	39	36	33	31	28	26	24	22	20	18	16	14	13	11	10	8	7		
11	100	94	89	84	79	74	69	65	61	57	54	50	47	44	41	38	35	33	30	28	26	24	22	20	18	16	15	13	12	10	9		
12	100	95	89	84	79	75	70	66	62	59	55	52	48	45	42	40	37	35	32	30	28	26	24	22	20	18	17	15	14	12	11		
13	100	95	90	85	80	76	71	67	63	60	56	53	50	47	44	41	39	36	34	32	29	27	25	24	22	20	19	17	16	14	13		
14	100	95	90	85	81	76	72	68	64	61	57	54	51	48	45	43	40	38	35	33	31	29	27	25	24	22	20	19	17	16	15		
15	100	95	90	86	81	77	73	69	65	62	59	55	52	50	47	44	42	39	37	35	33	31	29	27	25	24	22	21	19	18	16		
16	100	95	90	86	82	78	74	70	66	63	60	57	54	51	48	45	43	41	38	36	34	32	30	29	27	25	24	22	21	19	18		
17	100	95	91	86	82	78	74	71	67	64	61	58	55	52	49	47	44	42	40	38	36	34	31	30	28	27	25	24	22	21	20		
18	100	95	91	87	83	79	75	71	68	65	62	59	56	53	50	48	45	43	41	39	37	35	32	31	30	29	27	25	24	22	21		
19	100	96	91	87	83	79	76	72	69	65	62	59	57	54	51	49	47	44	42	40	38	36	34	33	31	29	28	26	25	24	22		
20	100	96	91	87	83	80	76	73	69	66	63	60	58	55	52	50	48	45	43	41	39	37	35	33	32	31	29	28	26	25	24		
21	100	96	92	88	84	81	77	74	71	68	65	62	59	57	54	52	50	47	45	43	41	40	38	36	35	33	31	30	29	28	27		
22	100	96	92	88	84	81	78	74	71	68	65	63	60	58	55	53	51	48	46	44	42	41	39	37	36	34	33	31	30	28	27		
23	100	96	92	89	85	81	78	75	72	69	66	63	61	58	56	54	51	49	47	45	43	42	40	38	37	35	34	32	31	30	28		
24	100	96	92	89	85	81	78	75	72	69	67	64	62	59	57	54	52	50	48	46	44	43	41	39	38	36	35	33	32	31	29		
25	100	96	92	89	85	82	79	76	73	70	67	65	62	60	57	55	53	51	49	47	45	44	42	40	39	37	36	34	33	32	30		
26	100	96	92	89	86	82	79	76	73	71	68	65	63	60	58	56	54	52	50	48	46	44	43	41	39	38	37	35	34	32	31		
27	100	96	92	89	86	82	79	76	73	71	68	65	63	61	59	57	55	53	51	49	47	45	43	42	40	39	37	36	35	33	32		
28	100	97	93	90	86	82	80	77	74	71	68	66	63	61	59	57	55	53	51	49	47	45	43	42	40	39	37	36	35	33	32		
29	100	97	93	90	86	83	80	77	74	72	69	66	63	61	59	57	55	53	51	49	48	46	44	43	41	40	38	37	35	34	32		
30	100	97	93	90	86	84	80	77	75	72	69	67	65	62	60	58	56	54	52	50	48	47	45	43	42	40	39	38	36	35	34		
31	100	97	93	90	87	84	81	78	75	73	70	68	65	63	61	59	57	55	53	51	49	47	46	44	43	41	40	38	37	36	35		
32	100	97	93	90	87	84	81	78	76	73	70	68	66	63	61	59	57	55	53	52	50	48	46	45	43	42	41	39	38	37	36		
33	100	97	93	91	87	85	81	79	76	73	71	68	66	64	62	60	58	56	54	52	50	49	47	46	44	43	41	40	38	37	36		
34	100	97	93	91	87	85	82	79	76	74	71	69	67	64	62	60	58	56	55	53	51	49	47	46	44	43	41	40	38	37	36		
35	100	97	94	91	87	85	82	79	77	74	72	69	67	65	63	61	59	57	55	53	52	50											
36	100	97	94	91	88	85	82	79	77	74	72	70	68	65	63	61	59	58	56	54													
37	100	97	94	91	88	85	82	80	77	75	72	70	68	66	64	62	60	58															
38	100	97	94	91	88	86	83	80	78	75	73	71	68	66	64	62																	
39	100	97	94	92	88	86	83	80	78	75	73	71	69	67																			
40	100	97	94	92	88	86	83	81	78	76	73	71																					

\* Tabla de conversión sicrométrica

## SOLUCIONES A LOS EJERCICIOS

Ejercicio no. 1: a) 60<sup>o</sup>/o b) 33<sup>o</sup>/o c) 20<sup>o</sup>/o.

Ejercicio no. 2: a) 6 g/m<sup>3</sup> b) 10,8 g/m<sup>3</sup> c) 18,6 g/m<sup>3</sup> d) vaporizar 7,8 gramos de agua.

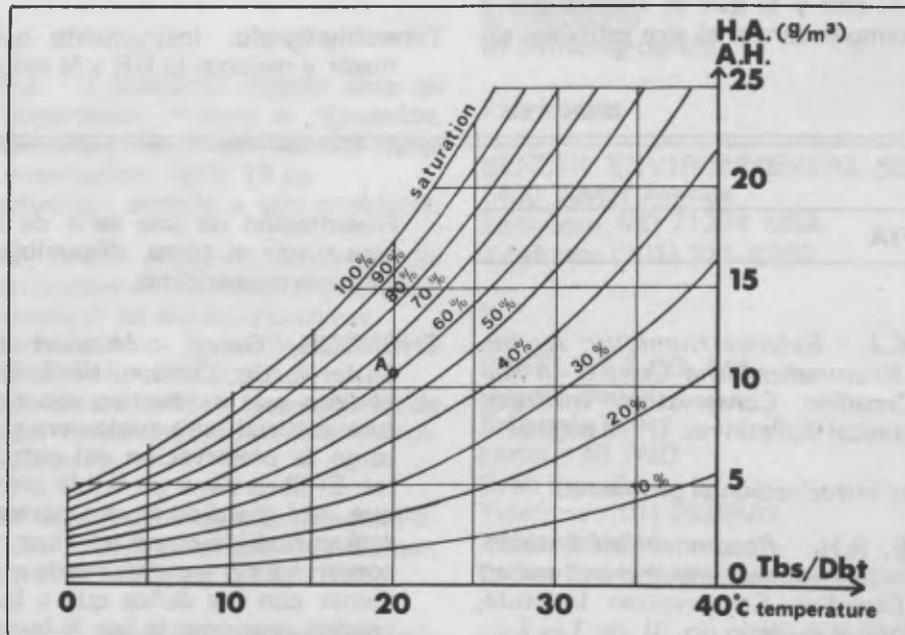
Ejercicio no. 3: a) 69<sup>o</sup>/o b) 73<sup>o</sup>/o c) 77<sup>o</sup>/o  
d) 81<sup>o</sup>/o e) 22<sup>o</sup>/o f) 31<sup>o</sup>/o  
g) 33<sup>o</sup>/o h) 63<sup>o</sup>/o i) 92<sup>o</sup>/o  
j) 100<sup>o</sup>/o k) imposible, la Tbh es siempre inferior a la Tbs.

Ejercicio no. 4:

- a) 8g/m<sup>3</sup>  
b) 8g/m<sup>3</sup>; si la humedad absoluta es constante, cuando la humedad crece, la HR disminuye.  
c) 5g/m<sup>3</sup> d) 12,5g/m<sup>3</sup>, a una temperatura constante, si la HR crece también crecerá la HA.  
e) 100<sup>o</sup>/o f) 45<sup>o</sup>/o g) situación imposible, la HA debería ser igual a 17,5g/m<sup>3</sup> debiendo condensarse 2,5g/m<sup>3</sup>.

Ejercicio no. 5:

- a) La HA permanece estable a 8g/m<sup>3</sup> y la HR disminuye al 35<sup>o</sup>/o.  
b) La calefacción a 25<sup>o</sup>C hace disminuir la HR al 35<sup>o</sup>/o, lo que resulta excelente para los bronques corroídos, cuya HR debe ser inferior al 45<sup>o</sup>/o.  
c) Al secarse el aire de madera le comunicará su humedad. Si este proceso es rápido, la madera corre el riesgo de rajarse y la pintura de descascararse. Para evitarlo hay que: Mantener estable la HR al 60<sup>o</sup>/o vaporizando 6,5g/m<sup>3</sup> de agua (si la vitrina es de 4m<sup>3</sup>, vaporizar 26 g. de agua.) De ese modo, la situación final será: t = 25<sup>o</sup>C HR = 60<sup>o</sup>/o HA = 14,5 g/m<sup>3</sup>.



---

## GLOSARIO

---

**Calibraje:** Determinación de la relación existente entre los indicadores de un aparato de medición y los valores del tamaño por medir.

**Condensación:** Paso de un vapor al estado líquido.

**Higrógrafo:** Instrumento que sirve para medir y registrar la HR del aire.

**Higrómetro:** Instrumento que sirve para medir la HR del aire.

**Humedad Absoluta:** Peso del vapor de agua contenido en determinada cantidad de aire. Se expresa generalmente en gramos de vapor de agua por metro cúbico de aire.

**Humedad Relativa o Estado Sicrométrico:** Relación entre la cantidad de vapor de agua contenido en el aire y la que se encontraría a la misma temperatura si el aire estuviese saturado.

**Objeto Inorgánico:** Objeto compuesto de materiales provenientes del reino mineral (piedra, cerámica, vidrio).

**Objeto Orgánico:** Objeto compuesto de materiales provenientes del reino animal o vegetal (madera, textil, marfil).

**Punto de Rocío:** Temperatura en la que el aire se satura cuando se enfría sin aumento de humedad. Cualquier otro descenso de la temperatura producirá la condensación. Las neblinas y el rocío tienen su origen en este fenómeno.

**Sicrómetro:** Aparato que sirve para medir la HR del aire comparando las lecturas del termómetro seco con las del termómetro húmedo cuyo bulbo está envuelto por una gasa mojada.

**Saturación:** Estado del aire cuando éste ya no puede absorber vapor de agua. La saturación varía con la temperatura.

**Termohigrógrafo:** Instrumento que sirve para medir y registrar la HR y la temperatura.

---

## BIBLIOGRAFIA

---

### En Inglés:

Mac LEOD, K.J. - *Relative Humidity: Its Importance, Measurement and Control in Museums*. Canadian Conservation Institute, 1975. (Technical Bulletin no. 1); 13 páginas.

Una sencilla introducción al problema.

LAFONTAINE, R.H. - *Recommended environmental monitors for museums archives and art galleries*. Canadian Conservation Institute, 1975 (Technical Bulletin no. 3); pp 1 - 7.

Presentación de una serie de instrumentos para medir el clima, disponibles en el mercado norteamericano.

THOMSON, Garry - *Museum Environment*. Butterworths, London, 1978; 270 pp.

El libro más exhaustivo sobre el tema. Lectura esencial para cualquiera que tenga a su cargo la preservación del patrimonio cultural. El libro tiene un doble propósito por lo que está dividido en dos partes. La primera está concebida como un libro de texto para conservadores y curadores de museos concerniente con los daños que a las colecciones pueden ocasionar la luz, la humedad y la po-

lución del aire, así como con la manera de minimizar dichos daños.

Los conocimientos científicos requeridos para esta primera parte son mínimos. La segunda está dirigida a los que trabajan en el campo de la investigación referida a la conservación, y resume información que hasta la fecha se hallaba dispersa o que era de difícil acceso. Para esta segunda parte es necesario un mínimo de conocimientos científicos. Si bien es un poco caro (\$20), todo museo debería contar con un ejemplar de este libro.

*Climatology and conservation in museums.* Rome, ICCROM, 1960, Extracto de *Museum*, Vol. XIII, no. 4, 1960; pp. 242 – 289.

Estudio general sobre el problema del clima en los museos. Mucha de esta información es aún válida, pero su presentación puede desalentar al lego que desee aprender algo sobre el clima.

#### En Francés:

MacLEOD, K.J. - *L'humidité relative dans les musées: importance, mesure et régulation.* Bulletin technique no. 1 de l'Institut Canadien de Conservation, 1975; 13 pp.  
Una introducción sencilla a este problema.

LAFONTAINE, R. H. - *Appareils recommandés pour la vérification des conditions ambiantes dans les musées et les dépôts d'archives.* Bulletin technique no. 3 de l'Institut Canadien de Conservation, 1975; pp. 1 – 7.  
Presentación de una serie de instrumentos de medición del clima disponibles en el mercado norteamericano.

*Climatologie et conservation dans les musées.* Rome, ICCROM, 1960. (Extracto de *Museum*, Vol. XIII, no. 4, 1960), pp. 242 – 289.

Estudio general sobre los problemas de cli-

matología en los museos. La mayor parte de la información es aún válida, pero su presentación puede desalentar al lego que desee aprender algo sobre climatología.

---

## DIRECCION DE ALGUNOS FABRICANTES

---

Para cada fabricante se indica el tipo de instrumento producido utilizando el siguiente código:

- a) sicrómetro de molinete
- b) sicrómetro ASSMAN
- c) sicrómetro con ventilación eléctrica
- d) higrómetro
- e) higrómetro electrónico
- f) termohigrómetro
- g) higrógrafo
- h) termohigrógrafo

### Fabricantes

BENDIX ENVIRONMENTAL Science Division  
1400 Taylor Avenue  
Baltimore, MD 21204 USA  
Teléfono: (301) 321 5200

c

CASELLA & CO. Ltd.  
Regent House  
Britannia Walk  
London N1 7ND  
Gran Bretaña  
Teléfono: (01) 2538581  
Télex: 261641  
Cable: Escutcheon, London N.I.

a b d g h

Wilh. LAMBRECHT K. G.  
Friedlander Weg 65/67  
P.O. Box 2654  
D - 3400 Göttingen, R.F. de Alemania  
Teléfono: (0551) 57721  
Télex: 96862  
Cable: Lambrechtgerät

a b d f g h

MAXANT  
41 rue Emile Zola  
F - 93107 Montreuil Cedex Francia  
Teléfono: 8596990  
Cable: Thermax, 93 Montreuil

a f h

NOVASINA A. G.  
Thurgauerstrasse 50  
Postfach - CH 8050 Zürich - Suiza  
Teléfono: (01) 3014000  
Télex: 56956 Sina ch

c

RICHARD PEKLY  
116 Quai de Bezons  
F - 95102 Argenteuil, Francia  
Teléfono: (3) 9470936  
Télex: 698719  
Cable: Enregistreur, Argenteuil

b d g h

S.I.A.P.  
Via Massarenti 412/2  
I - 40100 Bologna, Italia  
Teléfono: (051) 531168  
Télex: 511 197  
Cable: SIAP Bologna

b d g h

VEB FEINGERAETERBAU DREBACH  
DDR - 9362 Drebach/erzgeb., R.D. Alemana  
Teléfono: Enrenfriedersdorf 358  
Télex: 77440

a d g h

## Representantes

FRANK W. JOEL LTD.  
Unit 5  
Oldmedow Road  
Hardwick Industrial Estate  
King's Lynn  
Norfolk PE30 4HH Gran Bretaña  
Teléfono: (0553) 60851/2  
Télex: 97295 Winfrt G

FISHER SCIENTIFIC  
International Division  
52 Fadem Road  
Springfield, NJ 07081, USA  
Teléfono: (201) 3791400  
Télex: 138287

a b c d f g h

Siempre es posible obtener información sobre el funcionamiento de los aparatos de medición, así como de los fabricantes y representantes, dirigiéndose al servicio local de meteorología nacional.



Diseño: Véronique Demaret  
Dibujos e ilustraciones: Cathleen Malmstrom  
Fotografía, carátula: "Museo Preistórico Etnográfico  
Luigi Pigorini", Roma  
Traducción española y edición:  
Renato Sandoval Bacigalupo (Perú)  
Michelle Arias Bernard (Venezuela)  
Marcos Pérez (Venezuela)

