









# ÍNDICE

Introducción	7
Mediciones en el océano	
Disco Secchi	11
Correntómetro	13
CTD	17
Mediciones en la atmósfera	
Termómetro	23
Barómetro	29
Anemómetro y veleta	33
Higrómetro	39
Pluviómetro	43
Radiómetro	47
Ozonómetro	50
Referencias	55





Aunque constantemente nos hablen de la diferencia entre el tiempo atmosférico y el clima, seguimos asistiendo algunos con indiferencia y otros con espanto al mal uso de estos dos términos. Debemos tener claro que el tiempo atmosférico es el estado de la atmósfera en un lugar y en un momento determinado; mientras que el clima es el estado promedio de la atmósfera a lo largo de un período de tiempo mayor, generalmente registrado durante meses o años.

La meteorología y la climatología se dedican respectivamente al estudio del tiempo atmosférico y del clima, a través de la observación, del registro y del análisis de elementos como la temperatura, la humedad, la precipitación y la presión atmosférica. En la actualidad, dentro del contexto del cambio climático, el estudio tanto del tiempo atmosférico como del clima presenta un interés renovado dentro de los más diversos ámbitos de nuestra sociedad: la agricultura, la sanidad, la pesca o la industria energética. Todos los sectores de la sociedad están pendientes de los cambios que se produzcan tanto en las condiciones atmosféricas como en el clima.

Para el estudio de estos cambios es preciso tener medidas tanto de las condiciones atmosféricas como de las condiciones oceánicas. Estas medidas son necesarias para que los modelos de predicción numérica del tiempo y del clima puedan ejecutarse dando respuesta a nuestras preguntas. Además, para el estudio del clima son necesarios registros de datos de al menos 30 años.

Las nuevas tecnologías nos permiten contar con medidores automatizados de prácticamente todas las variables atmosféricas y oceanográficas que se nos ocurran, sin embargo no contaríamos con esas largas series de datos sin aquellas personas que cada mañana del año, llueva, nieve o luzca el sol, salen a las estaciones meteorológicas para comprobar la temperatura y la precipitación del día anterior. Este ejército de voluntarios, constituye la red de voluntarios que la Agencia Estatal de Meteorología (Aemet) tiene desplegada por el Estado y que contribuye al estudio del clima. La labor de estos voluntarios ha sido indispensable para la ciencia meteorológica y sigue siendo de gran utilidad a pesar de que hoy en día la mayoría de las estaciones meteorológicas han sido reemplazadas por estaciones automáticas. En la actualidad, y a pesar de los avances tecnológicos, sobreviven muchas estaciones manuales. En ocasiones, las estaciones automáticas fallan a causa de contratiempos técnicos y meteorológicos. En estos casos es importante tener una estación manual que recabe la información. Aemet promovió en un primer momento la automatización de las series climatológicas. Pero al ver los fallos que estas podían contener, ha vuelto a contar con las estaciones manuales sobre todo para el tema de registro climático más que para previsiones meteorológicas donde la automatización de datos es casi imprescindible.

En esta pequeña guía didáctica hemos recogido algunos de los aparatos más utilizados para recoger esas medidas de las condiciones atmosféricas y oceánicas. Algunos de ellos usan tecnologías muy complejas como son los satélites, pero otros son lo suficientemente sencillos como para poder ser construidos con materiales simples y fáciles de encontrar permitiendo así que tengamos una mayor comprensión de su funcionamiento.





# Disco Secchi

Alejandro Jacobo Cabrera Crespo

## DESCRIPCIÓN

El disco Secchi es un instrumento para medir la penetración luminosa en el agua. A partir de esta variable se pueden conocer otros parámetros, como la turbidez del agua, la profundidad eufótica o la profundidad de compensación.

La turbidez da una medida del grado de transparencia que pierde el agua debido a la presencia de partículas de suspensión que pueden ser de origen orgánico o no (plancton, algas, sedimentos...).

La zona fótica es la zona hasta la cual penetra la luz del sol en un medio marino, siendo una variable comúnmente usada en oceanografía física. Normalmente, se llama profundidad eufótica a la profundidad a la cual la intensidad de la luz es de sólo un 1% de la que atravesó la superficie. Por debajo de este límite no hay luz suficiente para la fotosíntesis.

La profundidad de compensación es aproximadamente 2,5 veces la profundidad de visión del disco Secchi. Esta profundidad marca el punto en el que la actividad fotosintética y la actividad respiratoria se encuentran en equilibrio. Debajo de esa profundidad la productividad primaria se considera nula, por lo que este límite es de gran importancia en oceanografía biológica

## HISTORIA

El disco Secchi fue creado por Pietro Angelo Secchi, un jesuita, astrónomo italiano que vivió en el siglo XXI y es reconocido tanto por sus descubrimientos acerca de la dinámica de la cromosfera solar, como por sus trabajos pioneros en espectrometría estelar. También estudió la penetración de la luz en el agua del Mar Mediterráneo, para lo que creó el instrumento que hoy conocemos como disco Secchi.

El disco mide 30 cm de diámetro y es blanco para usos oceanográficos o 20 cm de diámetro y está dividido en cuartos alternos en blanco y negro para su uso en aguas continentales.

En la Figura 1 se puede observar un disco Secchi. El disco está sujeto por una cuerda en su punto central a fin de que pueda descender mostrando su cara paralela a la superficie.



Figura 1. Dr. M. Varela (IEO, A Coruña) mostrando un disco Secchi a bordo del barco oceanográfico *Mytilus* (foto cortesía de Dr. R. Prego, IIM, CSIC).

El uso de un disco Secchi es bastante sencillo, aunque debe realizarse de forma cuidadosa a fin de obtener unas medidas fiables. Los siguientes pasos e indicaciones deben seguirse por el responsable de la medida:

1. Se realizarán las medidas desde la superficie del agua, generalmente desde un barco, y no desde estructuras costeras.
2. La medida se realiza en la parte de sombra y a sotavento, es decir, la parte hacia donde se dirige el viento.
3. Se introduce el disco en el agua y se sumerge lentamente.
4. Se anota la profundidad a la cual deja de verse el disco.
5. Es conveniente realizar estos pasos varias veces a fin de obtener una estadística lo más fiable posible.



Figura 2. Secuencia de muestreo a bordo del barco oceanográfico *Mytilus* (foto cortesía del Dr. R. Prego, IIM, CSIC).

## CONSTRUIR Y USAR UN SECCHI CASERO



Es una actividad bastante sencilla que puede realizarse con material común. Para ello hay que seguir una serie de pasos.

1. Pintar de negro dos cuartos opuestos de un disco blanco de plástico, madera o metal de entre 20 y 30 cm de diámetro. Para usos divulgativos esta medida del diámetro es orientativa.
2. Atar el disco por su centro para que se mantenga horizontal mientras cuelga de una cuerda, y lastrarlo para que no flote. Debe tenerse en cuenta que la madera y muchos plásticos tienen una densidad menor que la del agua y flotan. En ese caso hace falta lastrar el Secchi, lo que se puede hacer colgando desde el centro de la cara anterior una cuerda atada a algo que pese como una piedra o una lata llena de arena. Si no se quiere lastrar el Secchi, un material que puede ser adecuado para construirlo es el PVC, porque tiene una densidad mayor que la del agua.
3. Sumergirlo lentamente en el agua hasta que desaparezca de nuestra vista, anotando la profundidad. Aunque para usos de investigación se recomienda realizar las medidas desde un barco, para uso divulgativo se puede realizar el experimento desde una estructura como un puente o un pantalán.
4. Repetir el experimento varias veces bajo las mismas condiciones para obtener una estadística fiable. Debe tenerse en cuenta que el error es inversamente proporcional a la raíz cuadrada del número de medidas realizadas.

# Correntómetro

Ramón Gómez Gesteira

## DESCRIPCIÓN

Un correntómetro, a veces también mal llamado correntímetro, es un aparato que sirve para medir la velocidad y la dirección de las corrientes de agua. Se usa especialmente en aguas marinas.

En la actualidad existen 4 tipos principales: los mecánicos, los acústicos, los electromagnéticos y los de deriva. Antes de proseguir describiendo los diferentes tipos de correntómetros es necesario realizar una distinción entre medidores eulerianos y lagrangianos. La diferencia radica en el sistema de referencia. Un medidor lagrangiano tiene un sistema de referencia fijo, es decir, se mide la velocidad (o cualquier otra propiedad) en un mismo punto durante un cierto periodo de tiempo. Por poner un ejemplo, un peatón puede colocarse al lado de una carretera y medir la velocidad a la que circulan los coches. Por el contrario, un medidor lagrangiano no está ligado a un sistema de referencia fijo, sino que el observador que realiza la medida se desplaza con el fluido. Por poner un ejemplo, el observador que estaba en el borde de la carretera puede subirse a un coche y registrar la velocidad en función del tiempo. En este caso, también es necesario que registre su posición en cada instante. Los 3 primeros tipos de correntómetros que mencionamos anteriormente son de tipo euleriano, mientras que el último es de tipo lagrangiano.

## HISTORIA

El primer dispositivo que puede llamarse correntómetro se debe al marino estadounidense John Elliott Pillsbury, que lo diseñó a finales del siglo XIX para estudiar la Corriente del Golfo. Básicamente, era similar a los anemómetros que se usan para medir el viento.

**Correntómetros mecánicos.** Se basan en el dispositivo creado por el oceanógrafo sueco Vagn Walfrid Ekman en 1903 y constan de una hélice con un mecanismo que registra el número de revoluciones, una brújula con una grabadora con la que registrar la dirección y una aleta que orienta el instrumento de modo que la hélice se enfrenta a la corriente. El mecanismo es muy imaginativo. Un dispositivo arroja una pequeña bola de metal aproximadamente cada 100 revoluciones, si el sistema de engranajes está calibrado esto permite conocer la intensidad de la corriente. Además, el dispositivo está conectado a la aleta direccional, de tal forma que la bola cae en uno de los treinta y seis compartimentos en la parte inferior de la caja de la brújula, es decir se puede medir la dirección con una precisión de 10 grados. Para ver este tipo de dispositivos, así como para una visión vintage de equipamiento oceanográfico se recomienda el clásico de la Oceanografía escrito por Sverdrup et al. (1942). Los correntómetros mecánicos más modernos han mejorado el sistema de medida y de almacenamiento, pero el principio de funcionamiento es el mismo, contar el número de vueltas que da una hélice. Actualmente se usan correntómetros basados en el rotor de Savonius.

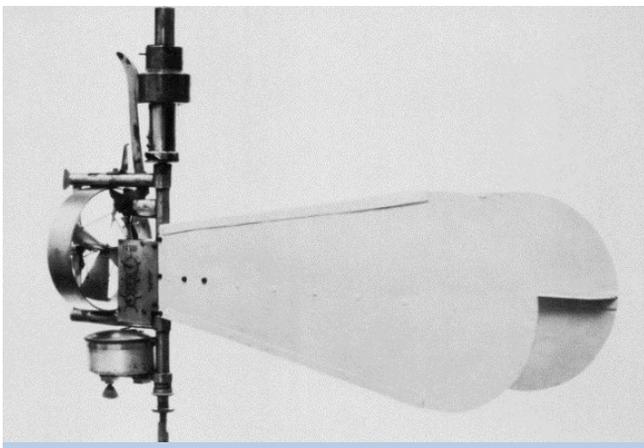


Figura 1. Correntómetro mecánico de Ekman  
Fuente: NOAA Ship Collection; fotografía de Y. Berard, Museo Oceanográfico de Mónaco.



Figura 2. Correntómetro mecánico modelo RCM8 fabricado por Aanderaa Instruments. Fuente: Imagen cortesía de Dr. Ramiro Varela, Universidad de Vigo.

**Correntómetros acústicos.** Aunque hay diferentes tipos, los más usados son los que se basan en el efecto Doppler sobre las ondas de sonido. En física, el efecto Doppler es el cambio aparente de frecuencia de una onda producida por el movimiento relativo de la fuente con respecto al observador. ¿Qué significa esto? Debemos recordar que la frecuencia de una onda es la inversa del periodo, que es el tiempo que tarda en repetirse el mismo estado. En el caso de las olas en el mar ese periodo es el tiempo entre dos olas. Entonces, el efecto Doppler simplemente consiste en que cuando una fuente de sonido se mueve, el sonido depende tanto de la velocidad del movimiento de la fuente como del sentido del desplazamiento.

El típico ejemplo es una ambulancia, cuando se acerca la sirena suena aguda y cuando se aleja nos parece un sonido más grave. De forma sencilla, un correntómetro Doppler envía una señal acústica con una frecuencia conocida.

Esa señal es dispersada por las partículas del agua, que al estar en movimiento se convierten en una fuente móvil. El correntómetro mide la frecuencia de la señal que le viene de vuelta y conociendo la diferencia de frecuencias (emitida vs recibida) se puede conocer la velocidad de la fuente (el agua). En los llamados ADCPs (del inglés Acoustic Doppler Current Profilers) la señal se envía en diferentes direcciones y alturas, lo que permite conocer la velocidad del agua a lo largo de la columna de agua. Este tipo de aparato apareció a mediados de los 70 del siglo pasado. Estos dispositivos pueden depositarse en el fondo, colocarse en la columna de agua mediante una balsa o un sistema de boyas y también situarse en el casco de un barco o de una estructura móvil.



Figura 3. Correntómetro Doppler modelo RCM9 (izquierda) y RDCP 600 (derecha) fabricados por Aanderaa Instruments. Fuente: Imagen propia.

**Correntómetros electromagnéticos.** Se basan en la Ley de inducción de Faraday, según la cual un campo magnético interacciona con partículas cargadas en movimiento, dando lugar a una fuerza electromotriz (voltaje).

En el océano, el agua contiene iones en movimiento de diferente carga, cuando se les aplica un campo magnético los iones se separan dando lugar a un voltaje. Conociendo el campo magnético aplicado y el voltaje resultante se puede conocer la velocidad con que se estaban moviendo esos iones en suspensión y, por tanto, la velocidad del agua.



Figura 4. Correntómetro electromagnético fabricado por Valeport. Fuente: <https://www.valeport.co.uk>

**Correntómetros de deriva.** Las boyas de deriva están diseñadas para moverse libremente con la corriente del océano, para lo que tienen que incorporar un dispositivo de flotación. Se usan en zonas remotas, donde el fondeo es difícil y también para cubrir amplias zonas del océano para describir estructuras que van de la mesoescala (decenas de kilómetros) a la macroescala (más de centenas de kilómetros). Normalmente, estas boyas registran otras propiedades físicas tales como la salinidad, la temperatura y la presión. Asimismo, pueden registrar variables biogeoquímicas tales como la concentración de distintas sustancias. Clásicamente, las boyas de deriva se movían en aguas superficiales o subsuperficiales y se utilizaban para analizar corrientes o estructuras tales como remolinos (eddies).

En la actualidad, es de especial interés el proyecto Argo, iniciado en el año 2000, donde los flotadores están diseñados para medir la temperatura y salinidad por encima de los 2000 metros del océano (Riser et al., 2016). Las boyas, que están a la deriva, son capaces de modificar su flotabilidad, ascendiendo y descendiendo entre la superficie y los 2000 metros de profundidad. El ciclo comienza a 1000 metros de profundidad (profundidad de estacionamiento) donde la boya permanece nueve días para después descender hasta los 2000 metros. Después, en unas pocas horas, alcanza la superficie desde donde envía los datos del ciclo vía satélite, para posteriormente sumergirse de nuevo hasta la posición de estacionamiento. Además de suministrar datos de temperatura y salinidad, lo cual es su objetivo principal, las boyas también informan sobre su posición, de lo que se pueden inferir las corrientes.

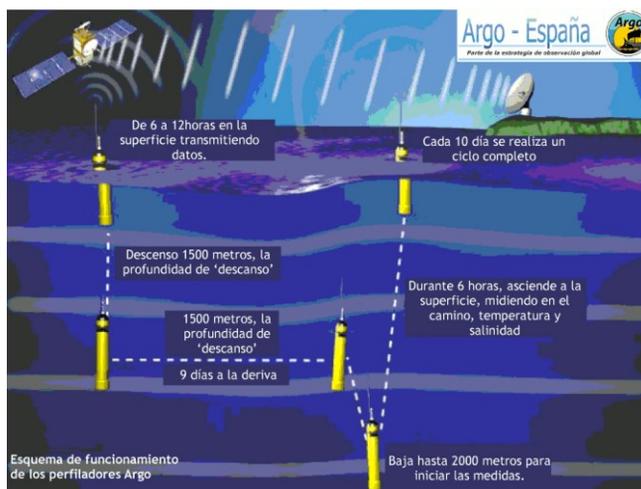


Figura 5. Funcionamiento de las boyas Argo. Fuente: <http://www.oceanografia.es/argo>

## COMO USAR LOS DATOS DE UN CORRENTÓMETRO

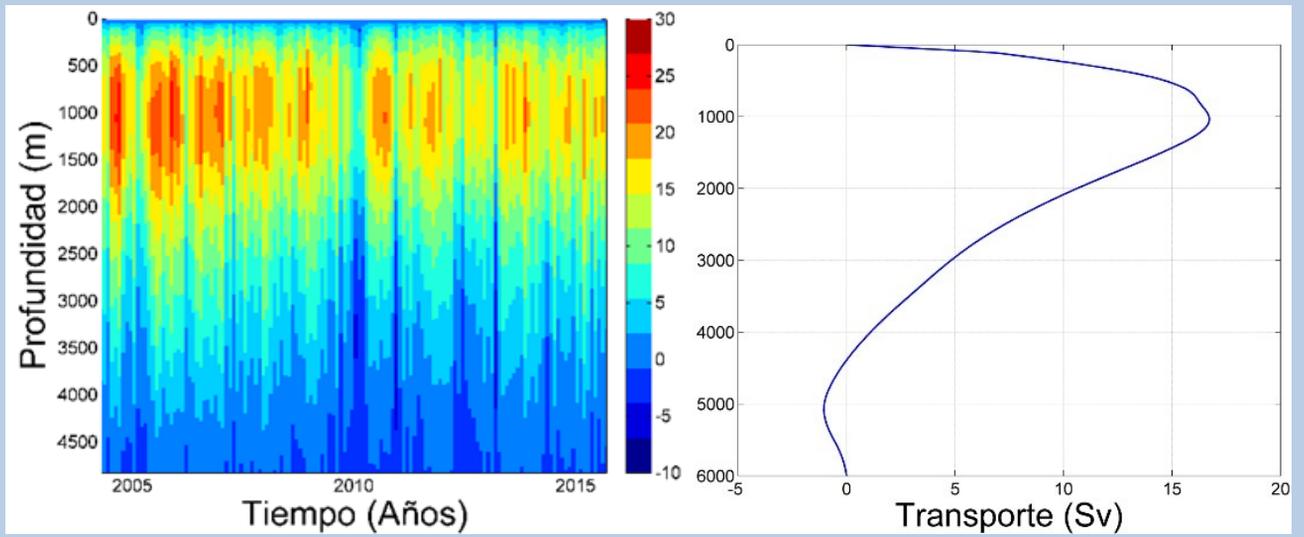


Figura 6. Estructura vertical del campo de flujo a través de  $26.5^{\circ}\text{N}$  (a) y perfil del transporte promediado para todo el periodo (b). Fuente: Trabajo Fin de Grado de Sofía Prado González, curso 2017-2018.

# CTD

M<sup>a</sup> Teresa de Castro Rodríguez

## DESCRIPCIÓN

Un CTD, cuyas siglas derivan del inglés (Conductividad, Temperatura y profundidad/Depth) es un instrumento oceanográfico que posee sensores que permiten registrar conductividad, temperatura y presión en la columna de agua. Las medidas de conductividad y presión se pueden convertir en salinidad y profundidad, respectivamente, que son las variables de importancia física, junto con la temperatura, ya que a partir de ellas se deriva la densidad, que es una de las principales responsables de los procesos de estratificación y circulación.

Antes de la invención del CTD, la salinidad y la temperatura del agua del mar se medían a través de botellas de Nansen, que podemos considerar CTDs analógicos. Estas botellas se colocaban abiertas por ambos extremos a diferentes profundidades mediante un cable conectado al cabrestante del buque oceanográfico. En un momento dado se enviaba un mensajero que hacía que se fuesen cerrando las botellas en cadena, capturando el agua que se encontraba en su interior. Después, se subían a bordo para su análisis. Las botellas estaban equipadas con termómetros reversibles para registrar la temperatura del agua in situ, mientras que la salinidad del agua se medía a bordo.

## HISTORIA

El primer CTD fue construido en el año 1955 por Neil Brown y Bruce Harmon, por lo que durante la década de 1960 las botellas de Nansen fueron sustituidas por el CTD electrónico en los barcos oceanográficos. Durante las siguientes décadas los CTDs experimentaron importantes mejoras en prestaciones, rapidez de muestreo, capacidad de almacenamiento y precisión.

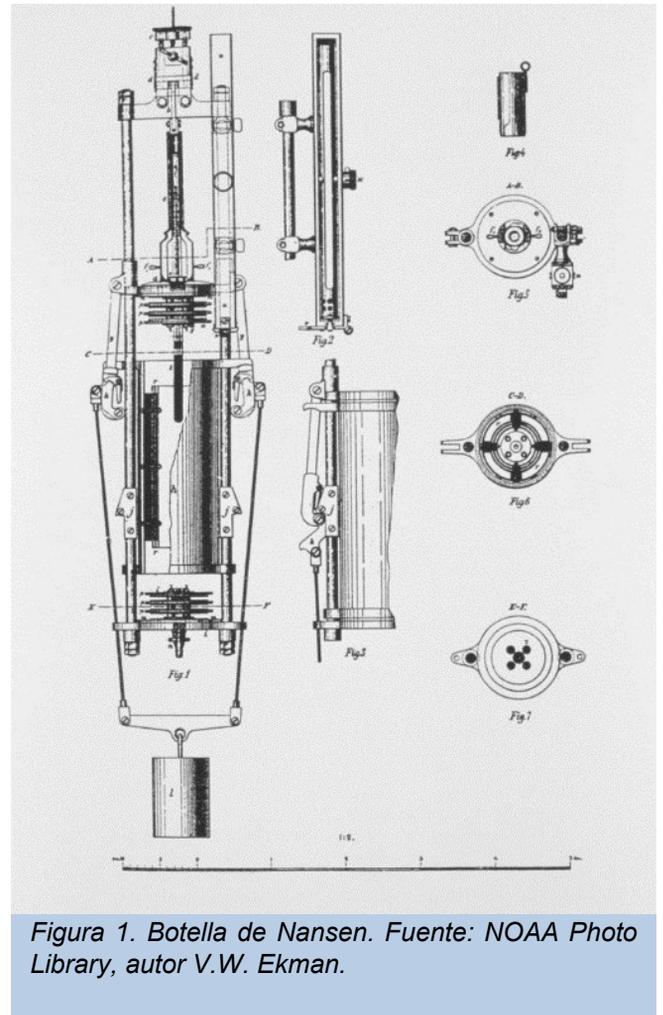


Figura 1. Botella de Nansen. Fuente: NOAA Photo Library, autor V.W. Ekman.

Un CTD básico tiene tres sensores internos cuyo principio de funcionamiento se basa en mediciones eléctricas que registran datos de conductividad, temperatura y presión.

Para medir estos parámetros, los CTDs deben estar calibrados siguiendo estándares internacionales (UNESCO, 1983; Larson, 1993).

La conductividad mide la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica. El agua pura tiene baja conductividad eléctrica, mientras que el agua con sales disueltas en forma de iones conduce mejor la corriente eléctrica. Por medio de unos electrodos es posible estimar la cantidad de sales disueltas en el agua de mar. Se hace pasar el agua entre dos placas entre las que se aplica un voltaje, en función de la corriente puede calcularse la conductividad del agua y de ahí estimar la cantidad de sales disueltas en el agua de mar (salinidad).

La temperatura se mide a partir de cambios en la resistencia eléctrica de un hilo de metal que está en contacto con el agua y, por lo tanto, adquiere su temperatura. Su principio de funcionamiento se basa en que la resistencia eléctrica de un material es función de su temperatura. Así, estos termómetros son capaces de transformar una variación de resistencia eléctrica en una variación de temperatura.

Normalmente, la presión se mide a partir de un pequeño compartimiento rígido lleno por un fluido, en el que se inserta una resistencia. Una de las paredes de este compartimiento está compuesta de una membrana flexible. Cuando la presión aumenta, la membrana presiona el fluido dentro del compartimiento y, consecuentemente, cambia la medida de la corriente eléctrica que pasa por la resistencia. A partir de la medida de presión se puede conocer la profundidad a la que se encuentra el equipo.

Además de los tres sensores básicos, el CTD también puede llevar sensores adicionales para medir otros parámetros como el pH, el oxígeno disuelto, la turbidez o la fluorescencia.



Figura 2. Perfilador CTD SB37SMP fabricado por Seabirds Instruments. Fuente: Imagen propia.

Los CTDs modernos pueden operar en aguas poco profundas o trabajar a grandes profundidades (superiores a los 10.000 m) con una alta precisión. Por poner un ejemplo, el sensor de conductividad puede tener una precisión del orden de una parte por millón (ppm), mientras que el sensor de temperatura puede tener una precisión superior a 0,001 °C dentro de un rango de temperaturas entre -3 °C y más de 40 °C.

Los CTDs pueden medir de diferentes formas. Así, clásicamente estaban colocados a una cierta profundidad (medición puntual) o podían descender a través de un cable (medición de un perfil) suministrando datos de toda la columna de agua. Además, también pueden colocarse en el casco de un barco o cualquier estructura, sea ésta móvil o fija.

Unos de los problemas más graves que tiene este tipo de dispositivos es que al pasar grandes periodos de tiempo en el agua, 3-5 años en el caso de las boyas Argo, pueden sufrir la proliferación de flora y fauna marina en el dispositivo que afecta a la calidad de las medidas. La mayor parte de los fabricantes elaboran sus dispositivos con material especialmente diseñado para evitar que ese fenómeno afecte a los sensores.

## COMO USAR LOS DATOS DE UN CTD



Se colocan los CTDs a lo largo de diversos puntos o localizaciones del área a estudiar y con los datos registrados se realizan perfiles de salinidad y temperatura. Aquí mostramos los resultados obtenidos tras hacer mediciones en las rías de Ortigueira, O Barqueiro y Viveiro.

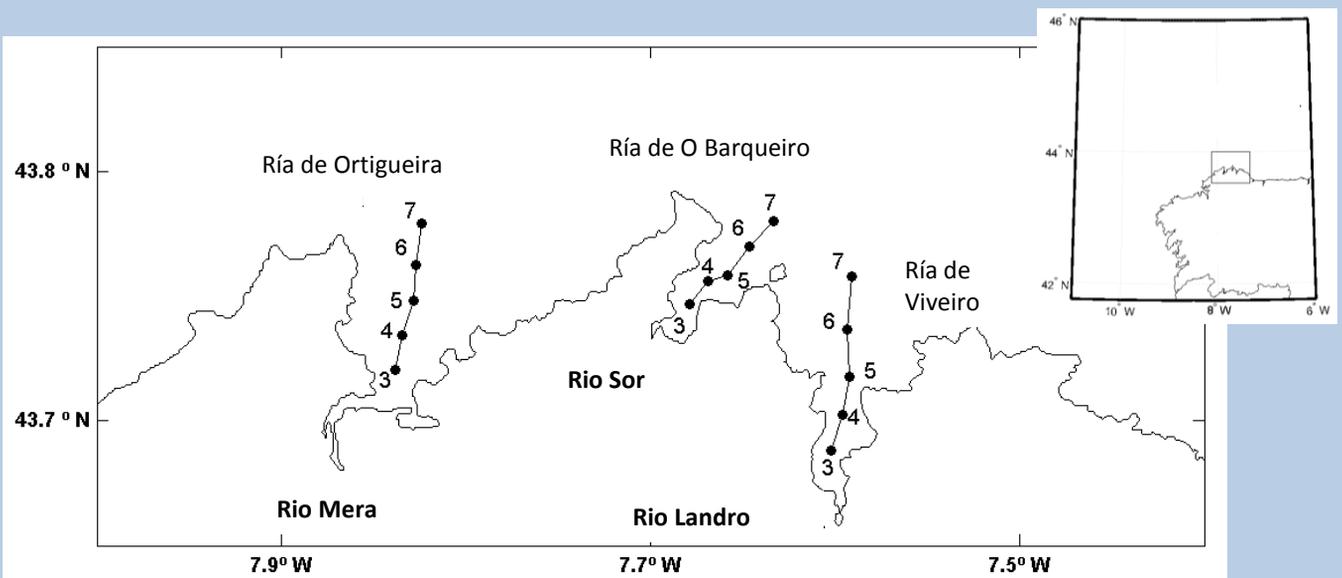
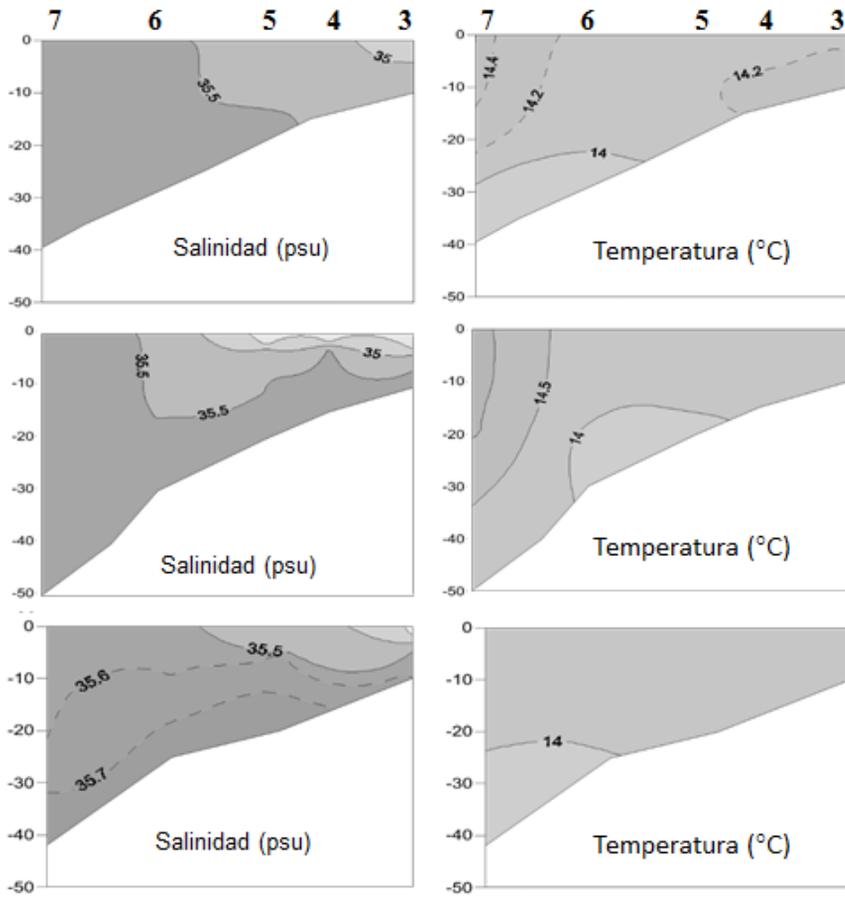


Figura 3. Localización de los CTDs en las distintas rías analizadas. Fuente: Imagen propia.



Ría de Ortigueira

Ría de O Barqueiro

Ría de Viveiro

Figura 4. Perfiles verticales de temperatura y salinidad obtenidos con los datos medidos por los CTDs en las distintas rías analizadas. Fuente: Imagen propia.





# Termómetro

Laura de la Torre Ramos

## HISTORIA

El primer instrumento de medida de temperatura del que se tiene constancia fue el termoscopio de Galileo Galilei a finales del siglo XVI. Consiste en una varilla de cristal terminada en una esfera que se introduce invertida en un recipiente con agua. Al cambiar la temperatura, el aire de la esfera se expande o contrae haciendo bajar o subir el agua por la varilla. Pocos años más tarde comenzaron los primeros intentos de graduar el instrumento, aunque de forma aleatoria y no necesariamente numerada.

## DESCRIPCIÓN

Un termómetro es un instrumento que mide la temperatura. Para ello utiliza propiedades físicas de los materiales que dependen de ella, preferiblemente de forma lineal. Según la propiedad física utilizada, existen diferentes tipos de termómetros.

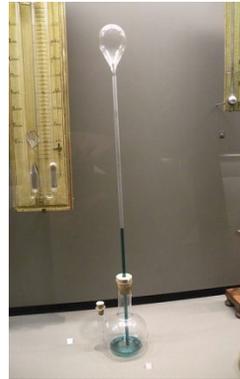


Figura 1. Termoscopio de Galileo en el Museo de las Artes y Medidas de París. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Musée\\_des\\_Arts\\_et\\_Métiers\\_thermoscope\\_de\\_galilée\\_1592.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Musée_des_Arts_et_Métiers_thermoscope_de_galilée_1592.JPG). Chatsam / CC-BY-SA-3.0

TIPO	MATERIAL	PROPIEDAD
Termómetro de líquidos	mercurio, alcohol	dilatación
Detector de infrarrojos	objetos alejados	emisión de radiación infrarroja
Termómetro de lámina bimetálica	dos láminas de metal	coeficiente de dilatación
Termistor	semiconductor	resistencia eléctrica
Termopar	dos metales unidos	diferencia de potencial

No fue hasta finales del siglo XVII que empezaron a usarse dos puntos de referencia con un número determinado de marcas intermedias equiespaciadas. Sin embargo estas escalas no se pueden considerar estrictamente reproducibles hasta que se reconoció el papel de la presión atmosférica como factor influyente en la temperatura de los puntos de referencia.

Más adelante se descubrieron otros factores que podían añadir errores, como la falta de uniformidad del vidrio. Dentro de esta evolución, no hay un consenso sobre cuándo apareció el primer termómetro y quien lo inventó. Depende de si consideramos cualquier instrumento que mida temperatura como termómetro, o si este debe estar graduado, o si la medida debe ser fiable, o reproducible.

## OBSERVACIONES METEOROLÓGICAS DE TEMPERATURA.

El tradicional termómetro de mercurio, que aún se usa, fue inventado por Fahrenheit en 1714. También desarrolló una de las escalas de temperatura más importantes (grados Fahrenheit, °F), aunque la más utilizada es la Celsius (grados centígrados o grados Celsius, °C) ideada por el científico del mismo nombre. En este caso los puntos de referencia son la temperatura de congelación (0 °C) y ebullición (100 °C) del agua a una presión de 1 atmósfera. La escala del Sistema Internacional de Unidades (Kelvin, K) utiliza como base el grado Celsius, pero establece como 0 el cero absoluto (-273.15 °C) y corresponde al punto en el que las moléculas y átomos de un sistema tienen la mínima energía térmica posible.

Ya en el siglo XIX se inventaron los termómetros de lámina bimetálica, termopares y termistores. El termómetro digital llegó en el siglo XX. Estos consisten en un termistor, termopar o sensor de infrarrojos unido a un circuito que procesa la información y la muestra en una pantalla.

Los termómetros se han utilizado desde siempre para medir la temperatura ambiente y, de hecho, su uso con fines meteorológicos comenzó ya en el siglo XVII. Pero no es hasta el siglo XIX que comienza de forma rigurosa la medición continuada de series de temperatura y la aparición de redes de medida. Hay muy pocas series que se remontan más atrás, como la de Berlín que comenzó en 1701 y continúa en la actualidad.

En Galicia, la serie más antigua de la que aún se recogen datos es la de A Coruña, cuyo observatorio se estableció oficialmente en 1864, habiendo datos desde algunos años antes. Sin embargo la serie no se puede considerar fiable hasta 1914, con el inicio de las observaciones profesionales. En cuanto al perfil vertical, se realizan sondeos desde 1958, aunque los datos están disponibles desde 1963.

Al hablar del uso operacional del termómetro en meteorología, los datos que se exponen se corresponden al caso de España, aunque las mediciones se realizan de forma equivalente en todos los países que pertenecen a la Organización Meteorológica Mundial.

**Termómetros de garita.** Según el manual de uso de términos meteorológicos de la AEMET, se define la temperatura del aire en superficie como “la temperatura leída en un termómetro que está expuesto al aire y protegido de la radiación solar”. Por lo tanto los termómetros para medir temperatura del aire están situados dentro del abrigo meteorológico, a aproximadamente 1,5 m sobre el suelo. Los termómetros dentro de la garita deben estar suspendidos por medio de soportes apropiados lo más ligeros posible para evitar la propagación del calor por conducción, y las vibraciones producidas por el viento. Suele haber un total de 5 termómetros: termómetro de máximas, termómetro de mínimas, termógrafo, termómetro seco y termómetro húmedo.

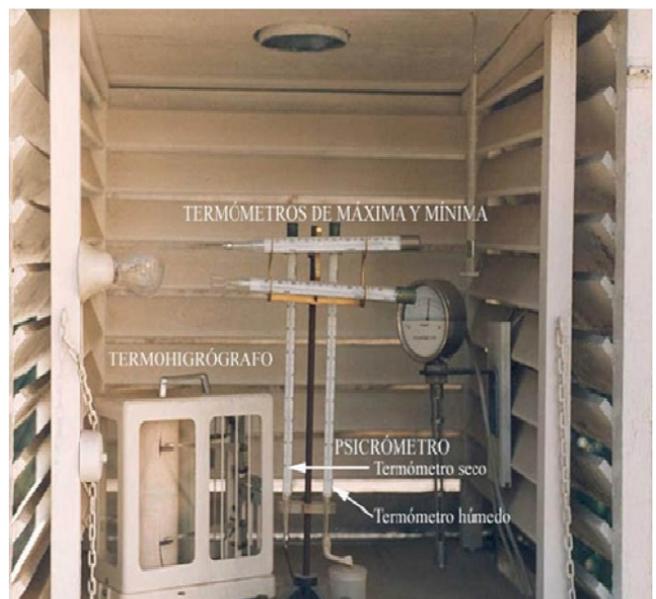
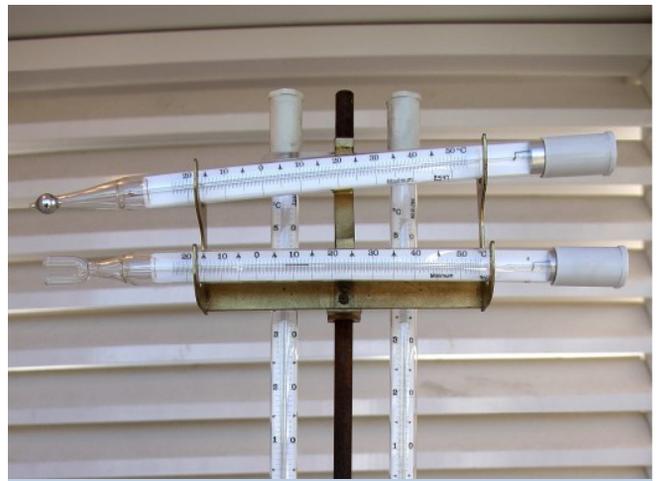


Figura 2. Termómetros en una garita. Fig. 23 de la Guía para la Observación Nivometeorológica (edición 2015) de la AEMet.

**Termómetro de máximas.** Normalmente es un termómetro de mercurio, y debe tener una estrangulación a la salida del depósito. Este estrechamiento hace que al bajar la temperatura la columna de mercurio se rompa y, por tanto, no pueda volver a bajar una vez alcanzado el máximo de temperatura. Para que funcione correctamente se coloca en posición casi horizontal con el depósito ligeramente hacia abajo, haciendo un ángulo de  $2^\circ$  con el horizonte. Al leerse por la mañana, la temperatura que se obtiene se asigna al día anterior. Tras la lectura hay que llevar el mercurio hasta la temperatura actual poniéndolo primero en posición vertical y agitando después el termómetro.

**Termómetro de mínimas.** En este caso suele usarse un termómetro de alcohol, su punto de congelación es inferior al del mercurio, y se coloca en horizontal. El capilar contiene un índice de vidrio muy ligero en forma de mancuerna, que se desplaza libremente en el líquido sin salir a la superficie. Cuando la temperatura desciende, el líquido arrastra el índice, porque éste no puede atravesar el menisco y se ve forzado a seguir su recorrido de retroceso. Cuando la temperatura sube, el líquido pasa fácilmente entre la pared del tubo y el índice, y éste permanece quieto señalando la temperatura mínima por su extremo más alejado del depósito. Esto quiere decir que de los dos valores señalados por los dos extremos del índice, la temperatura mínima es la mayor. Al leerse por la mañana, la temperatura que se obtiene se asigna al día actual. Para preparar el termómetro para la siguiente observación, este se inclina ligeramente manteniendo su depósito hacia arriba, de forma que el índice se desplaza hasta alcanzar el extremo superior de la columna de alcohol donde se para, debido a la tensión superficial.



*Figura 2. Termómetros de máxima (arriba) y mínima (abajo). Fig. 24 de la Guía para la Observación Nivometeorológica (edición 2015) de la AEMet.*

Uno de los problemas más frecuentes en los termómetros de máxima y mínima es no darse cuenta de que las columnas pueden estar partidas y en consecuencia, la lectura del instrumento resulte errónea. Un primer intento de eliminar el aire consiste en agitar los termómetros con cuidado. Cuando las burbujas, antes en el líquido, pasan a la parte superior, dejan de ser perjudiciales, pero conviene vigilar el instrumento, pues es frecuente que el problema se repita.

También se pueden medir las máximas y mínimas con un termómetro Six-Bellani, que es un termómetro de vidrio con el capilar dos veces doblado en U. A ambos extremos del tubo hay dos ensanchamientos con líquido orgánico (alcohol normalmente) que se extiende hasta más o menos la mitad de las columnas. La parte inferior en forma de U está rellena de mercurio, cuya misión es empujar dos índices de medida sumergidos en el líquido orgánico. Al subir la temperatura, el mercurio asciende por la columna de la derecha, empujando el índice. Al bajar la temperatura el mercurio asciende por la rama izquierda, empujando el otro índice.

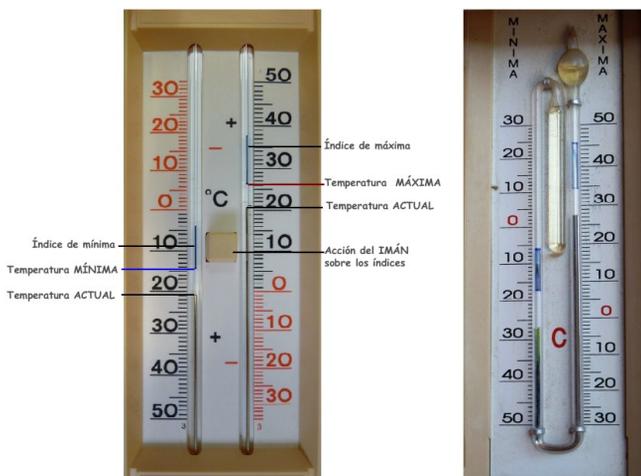


Figura 3. Termómetro Six-Bellani. Detalle de lecturas y estructura. Fig. 25 de la Guía para la Observación Nivometeorológica (edición 2015) de la AEMet.

Cuando el mercurio retrocede, los índices quedan fijos en el interior del capilar debido a la fuerza que sobre ellos ejerce un imán situado en la parte posterior del termómetro. Tras la observación, se aprieta un botón que aleja el imán y así los índices pueden bajar hasta la columna de mercurio.

### **Termógrafo (o termohigrógrafo).**

Consiste en un sensor de temperatura de lámina bimetálica unido a un registrador que transcribe continuamente la temperatura del aire a una banda reglada. Es menos preciso que un termómetro de vidrio, pero permite conocer en qué momento se produjeron las temperaturas máxima y mínima y cómo varían las temperaturas durante el día. Si el aparato marca mal la temperatura, con discrepancias superiores a un grado, el elemento bimetálico tiene una tuerca de ajuste. En el caso del termohigrógrafo, el aparato dispone también de un sensor de humedad.

**Termómetro seco.** Se utiliza para medir la temperatura actual con una precisión de  $0.1^{\circ}\text{C}$ . Suele ser un termómetro de mercurio colocado en vertical con el bulbo hacia abajo.

**Termómetro húmedo.** Junto con el termómetro seco constituye un psicrómetro, que se utiliza para calcular la humedad.

Se coloca en vertical y debe estar bien ventilado.

La lectura de estos termómetros en la red de estaciones meteorológicas la realizan observadores todos los días a las 8 UTC (9h local en verano y 10h local en invierno). Pero en España también hay una red de estaciones automáticas en las que hay un sensor de temperatura dentro de una garita y los datos de temperatura se recogen, almacenan y transmiten a lo largo de todo el día cada 10 minutos.

## **OTROS TERMÓMETROS DE USO METEOROLÓGICO**

### **Termómetro de mínima junto al suelo (o de radiación nocturna).**

Es un termómetro de mínima que se coloca horizontalmente a 15 cm del suelo en el exterior. Debajo lleva una pantalla de protección de la irradiación del suelo. Se lee a las 7 UTC y suele quitarse durante el día. En noches despejadas y sin viento, el enfriamiento del aire junto al suelo es considerablemente mayor que el del aire en la garita y las diferencias entre las temperaturas mínimas registradas junto al suelo y en la garita puede ser de varios grados.

**Termómetros de subsuelo.** Son termómetros de vidrio. Para las profundidades más pequeñas se suelen usar termómetros doblados y para las mayores termómetros suspendidos en el interior de un tubo. Permiten conocer la temperatura del suelo a distintas profundidades: 5, 10, 20, 50 y 100 cm. También se colocan en distintos tipos de terreno.

**Temperatura en altura.** Se mide, en general, dos veces al día con radiosondas que incorporan un sensor de temperatura, que puede ser un termistor o un termopar. Los datos se transmiten de forma automática a la estación.

**Temperatura en el mar:** Los datos de temperatura en la superficie oceánica proceden, en general, de termómetros localizados a distintas profundidades en boyas que transmiten la temperatura cada hora. Se utilizan termistores.

**Temperatura en la nieve.** Es uno de los indicadores previos del peligro potencial de aludes. Se utilizan termómetros digitales cuya sonda se introduce a la profundidad de medida tras haber hecho un agujero en el manto. La sonda debe colocarse en horizontal en la parte del agujero en la que el sol no incide directamente. La profundidad de una medida en superficie es de 10 cm. Para perfiles verticales las medidas se toman cada 10 cm en el primer metro y cada 20 cm a partir de ahí.

**Temperatura desde satélite.** Se realiza mediante un sensor de infrarrojos colocado en un radiómetro, que hay que calibrar ya en el satélite con otro tipo de medidas.

Este termómetro mide temperaturas en la superficie más cercana al satélite: si no hay nubes, temperatura en superficie, si hay nubes, temperatura en el tope de las nubes.



Figura 4. Termómetro de nieve. Fig. 49 de la Guía para la Observación Nivometeorológica (edición 2015) de la AEMet.

## CONSTRUIR Y USAR UN TERMÓMETRO CASERO



En internet hay muchas páginas con instrucciones para hacer un termómetro casero. En la página <https://es.wikihow.com/hacer-un-termómetro-casero>, se muestra como hacer uno bastante completo y con materiales fáciles de encontrar. Aquí mostramos uno muy similar.

### Material

Agua de grifo

Alcohol

Botella de plástico de 250 ml aproximadamente y de cuello estrecho

Colorante rojo

Una pajita de plástico para beber

Plastilina

Un termómetro de tienda (opcional)

## Procedimiento

1. Añadir partes iguales de agua y alcohol a la botella (un cuarto de cada uno).
2. Añadir un par de gotas de colorante rojo y mezclar agitando la botella.
3. Poner la pajita en la botella, sin dejar que se hunda hasta el fondo.
4. Utilizar la plastilina para sellar la botella, fijándola en ella para evitar fugas de alcohol.
5. Para probar si funciona el termómetro casero, se tiene que colocar el termómetro en un lugar caliente de la casa, por ejemplo al lado de la cocina. Así veremos como se mueve el líquido dentro de la pajita.
6. Marcamos con lápiz he iremos probando en lugares mas fríos y más calientes. Así podemos ver como varía de acuerdo a la temperatura.



*Figura 5. Ejemplo de termómetro casero. Fuente: <https://www.experimentosparaninos.org>.*

# Barómetro

Anita Rodrigues de Moraes Drumond

## DESCRIPCIÓN

Un barómetro es un instrumento que mide la presión atmosférica, que es el peso por unidad de superficie ejercida por la atmósfera.

La presión atmosférica se mide en milímetros de mercurio (mm Hg) y en el sistema internacional de unidades en hectopascales (hPa).

1 mm Hg = 1,33 hPa

760 mm Hg = 1013,2 hPa

Los barómetros sirven para conocer el estado de la atmósfera. Las altas presiones se corresponden con situaciones sin precipitaciones, mientras que las bajas presiones son indicadores de tormentas y borrascas.

Existen diferentes tipos de barómetros.

**Barómetro de mercurio.** Inventado por Torricelli en 1643, está formado por un tubo de vidrio de unos 850 mm de altura, cerrado por el extremo superior y abierto por el inferior. El tubo se llena de mercurio, se invierte y se coloca el extremo abierto en una cubeta llena del mismo líquido. Cuando se destapa, el mercurio del tubo desciende unos centímetros, dejando en la parte superior un espacio vacío. En aquel experimento, la columna de mercurio se estabilizó a 760 mm, al quedar compensada con la presión del aire, con lo que se demostraba por primera vez la existencia de presión atmosférica y se determinó su magnitud.

## HISTORIA

Los primeros barómetros fueron construidos por el físico y matemático italiano Evangelista Torricelli en el siglo XVII.

El barómetro de mercurio es un sistema preciso que indica la presión atmosférica directamente por la altura de la columna de mercurio. La presión atmosférica equivale a la altura de una columna de agua de unos 10,3 m. En los barómetros de mercurio, cuya densidad es unas 14 veces mayor que la del agua, la columna de mercurio sostenida por la presión atmosférica al nivel del mar y en condiciones atmosféricas normales es de unos 760 mm. A mayor altitud, el mercurio sube menos por que la columna de aire situada sobre el barómetro es menor.

Actualmente, el uso de este barómetro está desaconsejado a causa del envenenamiento por mercurio.



Figura 1. Barómetro de mercurio usado en una estación meteorológica. Fuente: <http://www.ufjf.br/labcaa/equipamentos/>.

**Barómetro aneroide.** Fue inventado por Lucien Vidie en 1843 y no utiliza mercurio. Está constituido por una cámara en cuyo interior se ha hecho un vacío parcial. Una de las paredes de la cámara actúa como un diafragma que se deforma en respuesta a los cambios de presión atmosférica. En esta membrana, se fija una aguja que marca los ascensos y descensos de la membrana en una escala graduada. Se gradúa por comparación con un barómetro de mercurio pero sus indicaciones son cada vez más inexactas por causa de la variación de la elasticidad del resorte.



Figura 2. Barómetro aneroide y su interior. Fuente: [http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/AYC/document/atmosfera\\_y\\_clima/presion/medirpres2.htm](http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/AYC/document/atmosfera_y_clima/presion/medirpres2.htm).

## CONSTRUIR Y USAR UN BARÓMETRO CASERO



Es una actividad bastante sencilla que puede realizarse con material común. Para ello necesitaremos el siguiente material.

### Material

- 1 frasco de vidrio con boca ancha
- 1 globo
- 1 goma elástica
- Tijeras
- 1 pajita para beber
- Tiras de cartulina
- Pegamento fuerte
- Regla y lápiz
- Caja de cartón del tamaño de una caja de zapatos para poner al barómetro

### Procedimiento

1. Cortar un poco por debajo de la mitad de la parte angosta del globo.
2. Cubrir la parte superior del frasco con la parte cortada del globo de modo que quede herméticamente sellado y plano y usar la goma para mantenerlo en su lugar.
3. Poner una pequeña cantidad de pegamento en el centro del globo. Colocar con cuidado de manera horizontal una punta de la pajita sobre el globo de modo que el otro extremo sobresalga del borde del frasco. Sostenerlo hasta que el pegamento seque.
4. Doblar un pedazo de cartón de modo que pueda sostenerse solo.

5. Con cuidado, marcar líneas dejando 0,5 cm entre ellas y escribir “Baja Presión” en la parte inferior y “Alta Presión” en la parte superior.
6. Colocar el barómetro y la escala dentro de la caja de cartón de modo que el extremo de la pajita llegue a la escala, pero sin tocarla. Pegar con cinta el barómetro y la escala en su lugar para que no se muevan.



Figura 3. Montaje de Barómetro. Fuente: <http://www.oni.escuelas.edu.ar/2008/cordoba/1324/trabajo/barometro.html>.



# Anemómetro y Veleta

Raquel Olalla Nieto Muñiz

## DESCRIPCIÓN

### ANEMÓMETRO

Un anemómetro es un instrumento diseñado para determinar la velocidad o fuerza del viento en superficie. La OMM (Organización meteorológica mundial) llama viento en superficie a la componente horizontal de la partícula tomada a 10 metros de la superficie plana y descubierta. Como terreno descubierta se entiende aquel en el cual la distancia entre el medidor de viento y cualquier obstáculo es mayor o igual a 10 veces la altura del mismo. Comúnmente, la velocidad del viento se suele expresar como un vector de dos dimensiones en la horizontal, ya que la componente vertical es muy pequeña cerca de superficie. Sin embargo en algunos casos la componente vertical es importante y existen hoy en día anemómetros diseñados para medir las tres componentes.

También se puede escribir el vector con sus valores de intensidad y dirección, que en el caso del vector horizontal, la dirección del viento viene dada por la dirección desde donde viene el viento medido en grados en el sentido de las agujas del reloj, comenzando desde el Norte.

El viento suele medirse en metros por segundo (m/s) o en nudos (kt, de sus siglas en inglés, knots).

## HISTORIA

En 1450 el italiano Leon Battista Alberti ideó lo que se puede considerar como el primer anemómetro, con una placa girando sobre un péndulo. Leonardo Da Vinci mejoró este diseño básico, 30 años más tarde. No obstante, es el científico inglés Robert Hooke quien recibe los honores de ser el inventor del primer anemómetro, aunque su diseño no se desarrolló hasta 1664. El irlandés John Thomas Romney Robinson reinventó el anemómetro en 1846, utilizando cuatro copas semiesféricas en lugar de placas.

Existen diferentes tipos de anemómetros:

**Anemómetro de empuje.** Están formados por una esfera hueca y ligera o una pala, cuya posición respecto a un punto de suspensión varía con la fuerza del viento, lo cual se mide en un cuadrante. Estos anemómetros no son muy precisos y se utilizan para obtener una información estimada de la velocidad del viento. Su indicación generalmente es en números relativos a una escala arbitraria establecida de antemano.

**Anemómetro de rotación o de copelas.** Son los más utilizados por su simplicidad. Está dotado de cazoletas o hélices unidas a un eje central cuyo giro, proporcional a la velocidad del viento, es registrado convenientemente. La velocidad de rotación del eje de la hélice es proporcional a la velocidad del viento, por lo que si medimos esa velocidad de rotación, podremos hacer una tabla de calibración directamente en unidades de velocidad del viento, en metros por segundo (m/s) o kilómetros por hora (km/h).

Existen anemómetros magnéticos en los cuales el giro de las hélices o copelas activa un diminuto generador eléctrico que facilita una medida precisa.

### **Anemómetro de presión hidrodinámica.**

Los hay simples que se basan en el tubo de Pitot, que no es más que un tubo de suficiente diámetro en forma de U con uno de sus extremos doblado y colocado de frente al viento (que mide la presión dinámica, o presión de impacto), y el otro abierto al exterior por un lateral protegido de la acción de este (que mide la presión estática, o ambiental). La diferencia entre las presiones medidas permite determinar la velocidad del viento.

Los hay con indicador que escalan la velocidad mediante diferentes sistemas. Muchos de ellos contienen una cápsula barométrica, que es un bulbo elástico, que al recibir la diferencia de presiones se dilata o encoje proporcionalmente. Este movimiento es conducido y amplificado a través de un juego de palancas y engranajes hasta una aguja indicadora que se puede observar desde el exterior. Hoy en día también existen anemómetros con indicadores digitales.

**Anemómetro de hilo caliente.** Un anemómetro térmico normal mide la velocidad del fluido detectando los cambios en la transferencia de calor mediante un pequeño sensor calefactado eléctricamente (un hilo o una película delgada) expuesto al fluido bajo estudio. El sensor calefactado es mantenido a una temperatura constante usando un circuito de control electrónico. El efecto de enfriamiento resultante del paso del fluido a través del sensor se compensa aumentando el voltaje del sensor. La magnitud del aumento de voltaje necesario para mantener la temperatura constante está directamente relacionada con la transferencia del calor y, por tanto, con la velocidad del fluido. La anemometría por hilo caliente (hot wire anemometry) es ideal para la medida de velocidades en fluidos puros (gases y líquidos) de temperatura uniforme.

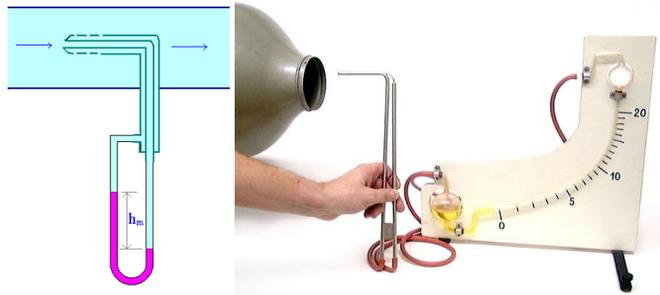
Su alto rango dinámico permite la medición de fenómenos turbulentos con una alta precisión hasta frecuencias muy altas. La técnica de hilo caliente es una medición invasiva, aunque sólo implique el emplazamiento de una pequeña sonda en el fluido de interés.

**Anemómetro sónico.** Este tipo de anemómetros se basa en que la velocidad de propagación del sonido depende de la velocidad del viento. Lo que se mide en este caso es el tiempo que demora una señal de sonido en atravesar una distancia conocida (normalmente unos 20 cm). Este intervalo de tiempo está relacionado con la velocidad del viento en la dirección entre el emisor y el receptor. Mediante una medición similar, realizada en una dirección perpendicular a la anterior, se puede calcular la velocidad total del viento y su dirección. Este instrumento es considerablemente más caro que el anemómetro de copela, pero tiene una mayor precisión y no requiere mantenimiento mecánico (no hay piezas en movimiento). Sin embargo tiene problemas para medir el viento cuando se registra precipitación (lluvia o nieve).

**Anemógrafo.** Es un sistema gráfico conectado a un anemómetro para registrar en papel la velocidad del viento y su intensidad. Las cazoletas o hélices de un anemómetro de rotación hacen girar un imán, que al pasar frente a una bobina emite un pulso eléctrico debido a la inducción electromagnética que produce el imán en las espiras de la bobina. La frecuencia de los pulsos están relacionados directamente con la velocidad del viento. Suelen tener debajo de las cazoletas o hélices una veleta, que permite indicar la dirección del viento.



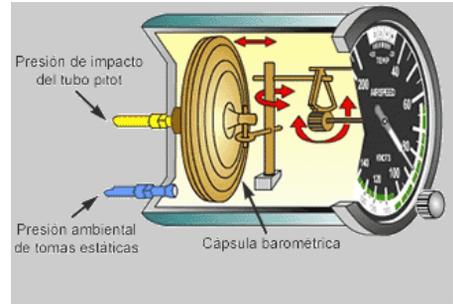
Anemómetro de empuje. Fuente: <http://www.sabelotodo.org/aparatos/anemometro.html>



Anemómetro de presión hidrodinámica usando el tubo de Pitot. Fuente: <https://fys.kuleuven.be>



Anemómetro de rotación o de copelas. Fuente: <http://www.renoair.com.br/es/mediciones-eolicas/anemometros/>



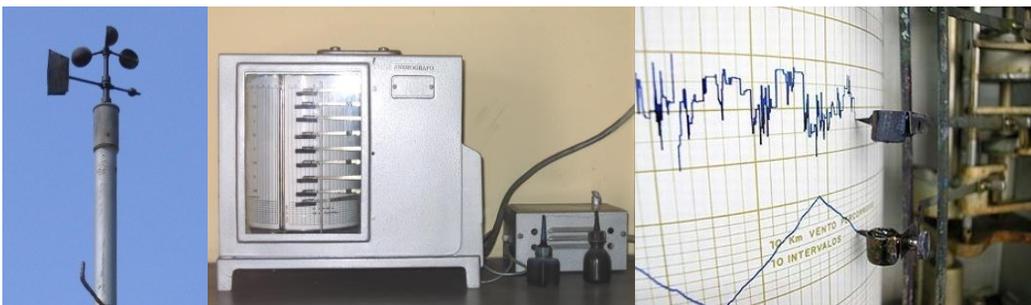
Anemómetro de presión hidrodinámica con indicador de aguja. Fuente: <http://www.sabelotodo.org/aparatos/anemometro.html>



Anemómetro de hilo caliente. Fuente: <http://www.directindustry.es>



Anemómetro sónico. Fuente: <http://www.renoair.com.br/es/mediciones-eolicas/anemometros-ultrasonicos/>



Anemógrafo, registrador del anemógrafo y datos registrados por el anemógrafo. Fuente: <http://meteorologia.pucp.edu.pe/estacion/bevientoe.html>

Figura 1. Diferentes tipos de anemómetros.

## VELETA

La veleta es probablemente el instrumento meteorológico más antiguo, el más sencillo. La veleta utiliza una combinación de las fuerzas de arrastre y de sustentación sobre la misma para alinearse con el vector viento. Las más tradicionales llevan en su base cuatro aspas metálicas que nos indican los puntos cardinales y, sobre las aspas, una flecha que señala la dirección de donde viene el viento. Las más complejas, al moverse hacen mover unos imanes sobre el eje colocados en ocho direcciones. Cuando la dirección de la veleta está sobre un imán correspondiente a una dirección, un registrador marca la dirección del viento en una banda de papel. La incertidumbre en la dirección es muy grande, de 45°.



Figura 2. Veleta. Fuente: Imagen propia

## CONSTRUIR Y USAR UN ANEMÓMETRO CASERO



Comentaremos a continuación cómo construir un anemómetro casero que nos aporte una información básica sobre la velocidad del viento:

### Material

- 1 vara larga, (por ejemplo una caña o un palo de escoba)
- 4 vasitos de plástico idénticos
- Pajitas
- Martillo
- Clavos
- Cinta adhesiva
- Cuentas para collares

### Procedimiento

1. Coger las pajitas o las cañas y unir las con cinta adhesiva tal y como se indica en el dibujo.
2. Coger los vasitos de plástico y hacerles un agujero en el medio lo suficientemente ancho para que puedan encajar en las pajitas.
3. Coger un clavo y pasarlo por una de las cuentas de collar, a continuación por el centro de la cinta adhesiva que une las pajitas, luego por otra cuenta y clavarlo con el martillo sobre la vara o el palo de escoba.
4. Introducir los vasitos de plástico en los brazos de forma que miren todos a la misma dirección y asegurarlos con cinta adhesiva. Pero antes, comprobar que quedan equilibrados ya que de lo contrario no tendrán la misma eficiencia frente al viento.

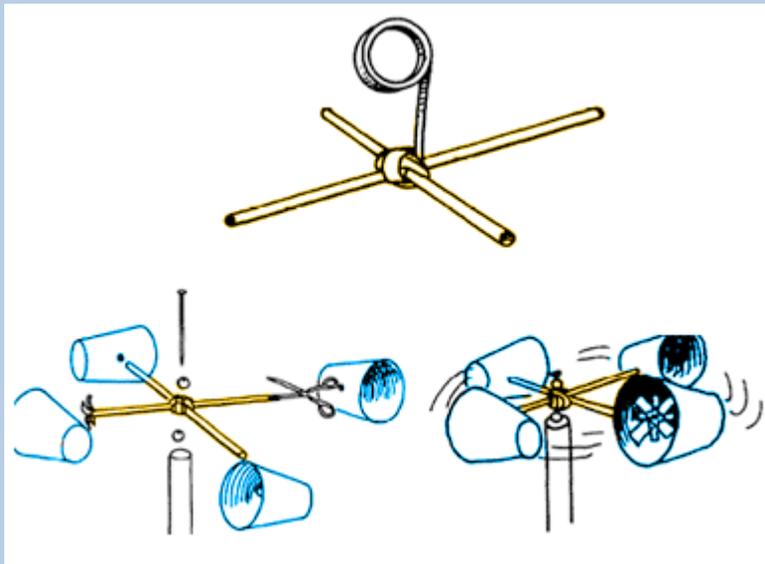


Figura 3. Esquema de construcción del anemómetro. Fuente: <http://www.lineaverdeceutatrace.com/lv/Recursos-educacion-ambiental/aire/anemometro.asp>.

## CONSTRUIR Y USAR UNA VELETA CASERA



A continuación mostramos cómo construir una veleta casera que nos aporte una información básica sobre la dirección del viento:

### Material

- 1 lámina de madera
- 1 pedazo de madera
- Martillo
- Clavos
- Tubo de bolígrafo
- Goma elástica
- Tijeras
- Pegamento
- Lámina de plástico, (por ejemplo de un envase de leche o de mantequilla).

### Procedimiento

1. Coger el tubo del bolígrafo e introducir dentro una ramita de madera o un clavo siempre y cuando el tubo pueda girar libremente en el eje.
2. Colocar el tubo sobre una base de madera en la cual habremos pintado los puntos cardinales.
3. Cortar del envase de plástico una tira, preferiblemente de un envase duro para que no se doble la tira y con la cartulina hacer 2 triángulos y pegarlos a la tira para que quede la forma de la flecha.
4. Adherir la tira al canuto del bolígrafo de forma que queden perpendiculares y atarlo con una goma elástica.

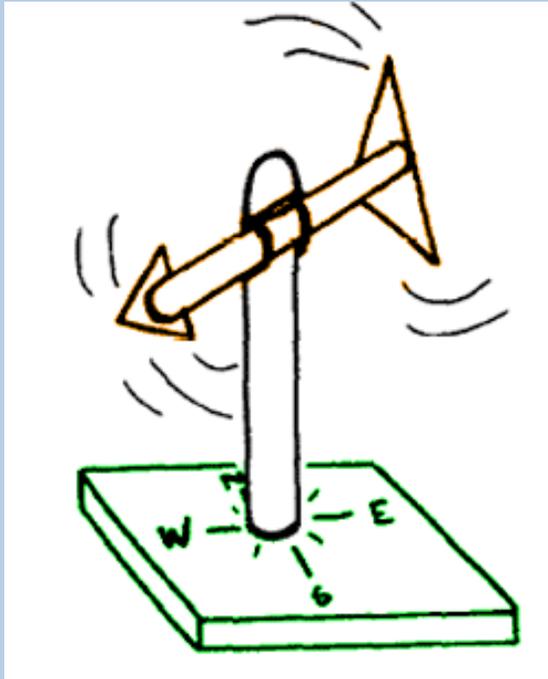


Figura 4. Ejemplo de veleta casera. Fuente: <http://www.lineaverdeceutatrace.com/lv/Recursos-educacion-ambiental/aire/veleta-anemometro.asp>

# Higrómetro

Xurxo Costoya Noguero

## HISTORIA

El primer higrómetro nació de la inventiva del físico francés Guillaume Amontons en 1687. Suyo es el libro 'Remarques et experiences physiques sur la construction d'une nouvelle clepsydre, sur les barometees, les thermometres et les hygrometres', de 1695. Al higrómetro de Amontons le siguieron otros modelos que lo perfeccionaron, por ejemplo el elaborado a mediados del siglo XVIII por el alemán Daniel Gabriel Fahrenheit.

## DESCRIPCIÓN

Un higrómetro es un instrumento meteorológico que se emplea para medir la humedad, es decir, la cantidad de vapor de agua que contiene el aire. Existen diferentes formas de expresar la medida de la humedad:

1. **Humedad absoluta:** Representa el peso de vapor de agua por unidad de volumen. Normalmente se expresa como la cantidad en gramos en un metro cúbico de aire ( $\text{g m}^{-3}$ ).
2. **Humedad específica:** Es similar a la humedad absoluta, pero en este caso el peso del vapor de agua que contiene el aire se expresa en relación a un kilogramo de aire seco ( $\text{g kg}^{-1}$ ) en lugar de unidad de volumen.
3. **Humedad relativa:** Se refiere a la cantidad de vapor de agua que contiene el aire respecto a la máxima cantidad que podría contener. Es importante tener en cuenta que la cantidad de vapor de agua que puede contener el aire varía dependiendo principalmente de la temperatura. Así, cuánto mayor es la temperatura del aire mayor cantidad de vapor de agua puede contener. La temperatura a la que el aire se satura de vapor de agua manteniendo la presión constante, se conoce como punto de rocío, que es la temperatura a la que la humedad relativa será del 100%.

De la misma forma que la humedad se puede expresar empleando diferentes unidades, también se pueden utilizar diferentes tipos de higrómetros que se basan en diferentes métodos para medir la humedad. A continuación, se explica el funcionamiento de los tipos de higrómetro más comúnmente utilizados:

**Higrómetro de cabellos.** El cabello es sensible a las variaciones de la cantidad de agua en la atmósfera, de tal forma que varía su longitud dependiendo del grado de humedad del aire. Un aumento de humedad incrementa su longitud. La explicación a este fenómeno reside en que el cabello está formado por largas cadenas de proteínas, entre las que se encuentra en gran cantidad la queratina, la cual a su vez está formada por diferentes aminoácidos. Las cadenas de queratina se unen mediante diferentes tipos de enlace químico, algunos de los cuáles (principalmente puentes de hidrógeno) son enlaces débiles que se pueden ver condicionados por la presencia de moléculas de agua en el ambiente.

Así, la presencia de estas moléculas favorece que se incrementen los puentes de hidrógeno entre los aminoácidos, lo que ondula el pelo e incrementa su longitud. El primer higrómetro con cabello humano fue construido por el naturalista y geólogo suizo Horace Bénédicte de Saussure en el año 1783.

Otra opción que se ha utilizado en la construcción de higrómetros es el uso de crines de caballo. Otra alternativa es el uso de fibras sintéticas (Figura 1), ya que no requieren ningún mantenimiento y ofrecen una mayor precisión.



Figura 1. Higrómetro basado en el uso de fibras sintéticas. Fuente: Wikimedia Commons.

**Higrómetro de condensación.** El funcionamiento de este tipo de higrómetro se basa en determinar la temperatura de rocío. Para ello hacen uso de una superficie pulida, normalmente un espejo, que se enfría artificialmente hasta alcanzar la temperatura de rocío, momento en el que se inicia la condensación de pequeñas gotas sobre dicha superficie. Los higrómetros modernos que emplean esta técnica cuentan con un mecanismo optoelectrónico que permite detectar la condensación. El uso de la condensación para evaluar la humedad en el ambiente fue empleada por primera vez por el Gran Duque Ferdinando II de Toscana durante la segunda mitad del S. XVII.

**Higrómetro eléctrico.** Estos instrumentos se componen de un medidor conectado a una sonda. El funcionamiento de dicha sonda puede basarse en dos principios: la capacitancia (capacidad para almacenar carga eléctrica) o la resistencia eléctrica.

En el primero de los casos, la medida de la humedad se obtiene empleando un sensor compuesto por un polímero o material higroscópico dieléctrico que se coloca entre dos electrodos formando un pequeño capacitor.

La humedad provoca que el dieléctrico se dilate, variando la distancia entre las placas lo cual provoca un cambio de frecuencia en los componentes electrónicos del aparato afectando a la modulación de la frecuencia. Dicha frecuencia se convierte a voltaje que se convierte a su vez en humedad relativa.

Por otro lado, las sondas que se basan en el empleo de un sensor resistivo, lo que hacen es que fluya la electricidad a través de una pieza de material cerámico expuesta al aire. La cantidad de vapor de agua dentro de la cerámica modifica la resistencia al paso de la electricidad, por lo que a través de la cantidad de corriente que fluye es posible precisar la humedad del aire.

**Psicrómetro.** Aunque estrictamente hablando este aparato no es un higrómetro, es comúnmente usado para medir la humedad. Este aparato se compone de dos termómetros. Por un lado un termómetro que recibe el nombre de termómetro seco, que está en contacto con el aire y mide la temperatura ambiente, y por otro lado un termómetro húmedo. Este último contiene el bulbo recubierto de una muselina húmeda mediante una mecha que lo comunica con un depósito de agua destilada. Este bulbo está expuesto a una corriente de aire que provocará la evaporación del agua de la muselina. Esta evaporación produce enfriamiento, por lo que el termómetro húmedo marca una temperatura inferior a la que se puede ver en el termómetro seco. Cuanto mayor es la diferencia de temperatura entre ambos termómetros, mayor será la evaporación, lo cual denota una humedad baja.

El cálculo exacto de la humedad relativa se hace utilizando unas tablas de doble entrada donde se tiene en cuenta ambas temperaturas o también es posible calcularla empleando gráficos psicrométricos.

Para una mayor precisión en la medida es necesario conocer la presión atmosférica.



Figura 2. Psicrómetro portátil tipo Assman. Fuente: Martín & Pina, 2014.

## CONSTRUIR Y USAR UN HIGRÓMETRO CASERO



Aprovechando el hecho de que el cabello reacciona a variaciones de la humedad, comentaremos a continuación cómo construir un higrómetro casero que nos aporte una información básica sobre la humedad en el aire:

### Material

- 3 o 4 cabellos de unos 30 cm de longitud
- 1 cartón grueso de aproximadamente 22 x 10 cm
- 1 cartón fino
- 1 chincheta
- Alcohol
- 1 moneda de 10 céntimos
- Pegamento instantáneo
- Rotulador
- Regla
- Secador
- Algodón

## Procedimiento

1. Lo primero es desengrasar los cabellos utilizando alcohol. Mezclar alcohol y agua con una proporción de  $\frac{1}{4}$  de alcohol por  $\frac{3}{4}$  de agua. Frotar los cabellos utilizando una mota de algodón. Lo que se busca es facilitar la interacción del cabello con las moléculas de agua.
2. Dibujar una flecha sobre el cartón fino con unas dimensiones aproximadas de 7,5 cm de base y 6 cm en los otros dos lados. Recortar esta flecha, que se utilizará como puntero para marcar el grado de humedad. Colocar próximo al extremo de la flecha una moneda pequeña, se recomienda 10 céntimos, aunque puede variar dependiendo del peso de los materiales. Esta moneda servirá como contrapeso.
3. Fijar la flecha indicadora al cartón grueso utilizando una chincheta, es importante que se pueda mover sin dificultad alrededor del eje de la chincheta.
4. Realizar dos pequeños cortes en la parte superior del cartón grueso y otros dos cortes en la parte inferior de la flecha, de forma que queden alineados. Posteriormente haremos pasar por ellos los cabellos prestando atención a que la flecha se encuentre en posición horizontal cuando los cabellos estén bien estirados. En ese momento, fijar cada extremo de los cabellos utilizando pegamento instantáneo. Un punto clave es que la variación de tamaño de los cabellos sea suficiente como para mover la flecha indicadora, para lo cual es necesario que el peso de los materiales no sea excesivo y que los cabellos queden perfectamente tensos.
5. Por último, es necesario calibrar el higrómetro, es decir, fijar el valor mínimo (0% de humedad relativa) y máximo (100% de humedad relativa). Para ello se utilizará un secador, que aplicaremos a los cabellos con el fin de secarlos. El valor que marque la flecha después de aplicar el secador lo marcaremos sobre el cartón como el mínimo. Para calcular el máximo bastará, por ejemplo, con llevar el higrómetro al baño después de una ducha de agua caliente, cuando el aire se encuentra saturado de humedad. El punto que indique la flecha lo marcaremos como el máximo.

En todo este proceso es necesario contar con cabellos sanos. Se ha comprobado que los cabellos de mujer rubia son más sensibles a la humedad, siendo las crines de caballo otra buena alternativa a utilizar.

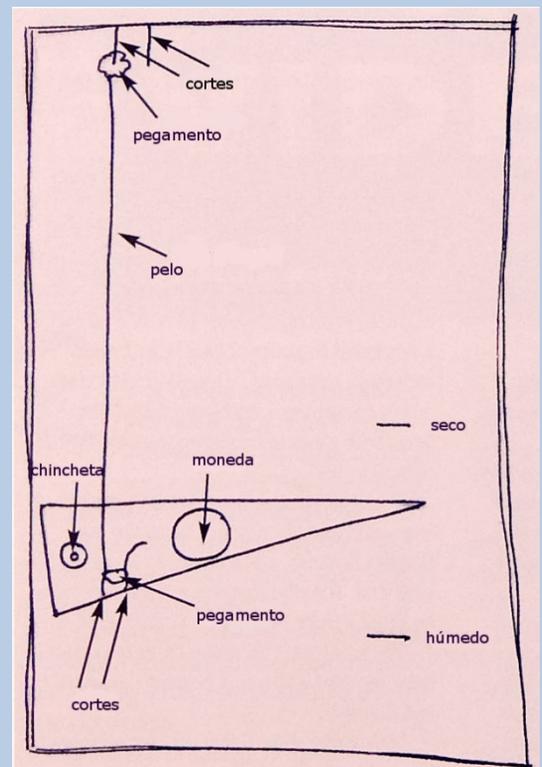


Figura 3. Esquema representando los diferentes componentes. Fuente: © Exploratorium <http://www.exploratorium.edu>

# Pluviómetro

Luis Gimeno Presa

## HISTORIA

Aunque hay controversia sobre el primer pluviómetro se suele considerar el siglo XV y Corea como sus orígenes, sin poder precisar si fue el rey Sejong el grande, o un científico que trabajaba para él Jang Yeong Sil, su inventor.

## DESCRIPCIÓN

Los pluviómetros son los instrumentos diseñados para la medida de la precipitación, entendida de forma sencilla como toda el agua atmosférica en sus diversos estados que llega a tierra.

Básicamente hay tres tipos de pluviómetro:

**Pluviómetro estándar.** Se inventó hace algo más de un siglo y básicamente consiste en un cilindro con un embudo colector de tamaño prefijado. La precipitación viene medida por la altura del agua colectada en el tubo de medición

**Pluviómetro con tubo de descarga.** Este consta de dos cubos conectados de forma que cuando uno de ellos llega a un cierto volumen de agua descargada se inclina vertiendo el agua. Cuando esto ocurre el otro ocupa su lugar. Midiendo cuando ocurren estas descargas es posible no sólo estimar la precipitación sino también su intensidad, es decir la precipitación por unidad de tiempo.

**Pluviómetro de báscula.** En este caso lo que hace es pesar el agua que cae sobre un recipiente de tamaño fijado situado sobre una báscula.

El instrumento oficial reconocido por la Organización Meteorológica Mundial es el pluviómetro Hellmann, que se encuentra dentro de los pluviómetros estándar. Consiste de un vaso cilíndrico que contiene en su interior un embudo colector que recoge el agua hacia una probeta medidora.

Dicha probeta al encontrarse en el interior se protege de la evaporación. La boca del cilindro es de  $200 \text{ cm}^2$ , una superficie 50 veces menor que el  $\text{m}^2$ .

La probeta ya está graduada para medir directamente en mm de altura. La lectura se hace sobre el fondo del menisco y se expresa en décimas de mm de altura de precipitación con aproximación de 2 décimas de mm

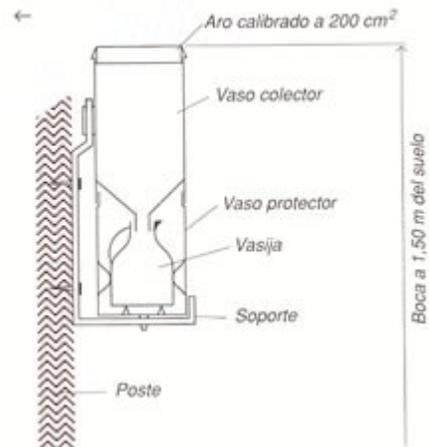


Figura 1. Esquema del Pluviómetro Hellman. Fuente: Ficha técnica de medición oficial según la Organización Meteorológica Mundial .



Figura 2. Pluviómetro Hellman. Fuente: <https://www.darrera.com/detalle-producto.php?d=&id=60>

## CONSTRUIR Y USAR UN PLUVIÓMETRO CASERO



A continuación vamos a construir un pluviómetro casero.

### Material

- 1 botella de plástico vacía de aproximadamente 1,5 l
- 1 instrumento de corte (cuchillo de sierra, bisturí o tijeras)
- 1 trozo de alambre
- 2 gomas elásticas
- 1 regla de 20 cm
- 1 listón de madera (sirve también un trozo de escoba)
- 1 rotulador indeleble de punta fina

Se puede usar también un clavo pequeño y un martillo

### Procedimiento

1. Utilizando el instrumento de corte, cortar con cuidado la punta de la botella de plástico, que se debe guardar para después.
2. Como el fondo de las botellas no es plano, si se mide directamente la altura del agua el resultado sería erróneo. Se debe entonces realizar un enrase vertiendo agua hasta cubrir completamente el fondo y dibujar una línea por el exterior a la altura del borde de agua. Esa será la línea cero de medida.
3. Fijar la regla a la botella con las gomas elásticas y asegurarse de que la parte graduada de la regla queda hacia el exterior para que pueda leerse y el 0 quede exactamente en el nivel de referencia que se ha marcado previamente con el rotulador. La regla debe quedar en posición perpendicular a la base de la botella.
4. Utilizar después el alambre para fijar la botella al listón de madera. Se puede hacer construyendo una abrazadera de modo que la botella no se pueda caer, se pueda retirar por la parte superior y la abrazadera no se deslice. Para asegurarse de que la abrazadera no se desplace, se puede utilizar un pequeño clavo para fijarla a la tabla.

5. Colocar el trozo de botella que se cortó al principio a modo de embudo sobre la parte superior de la botella.
6. Colocar el soporte y el pluviómetro al aire libre en un lugar despejado y fijarlo al suelo en posición vertical.
7. Una vez que el pluviómetro esté colocado, y antes de empezar a tomar medidas durante 24 horas, verificar que el nivel de agua de enrase corresponde con el nivel 0 de lectura.



*Figura 3. Pluviómetro construido a través de este procedimiento. Fuente: Programa educativo Red de excelencia europea EUR-OCEANS <http://www.eur-oceans.info>.*



# Radiómetro

Diego Fernández Nóvoa

## HISTORIA

El primer radiómetro conocido fue diseñado por el químico inglés William Crookes en 1873. Este científico descubrió el elemento Talio en 1861 y utilizó una balanza muy precisa para pesarlo. En este proceso se dio cuenta de que las mediciones variaban cuando incidía la luz solar en la balanza, por lo que diseñó el radiómetro con el objetivo de comprender la influencia de la radiación solar.

## DESCRIPCIÓN

El radiómetro es un instrumento que se emplea para detectar y medir la energía térmica radiante. Como aparato de medición meteorológica tiene la función de medir la energía que llega a la Tierra procedente del Sol en forma de radiación electromagnética. La unidad de medida son vatios por metro cuadrado ( $W m^{-2}$ ).

Existen diferentes tipos de radiómetros:

**Radiómetro de Crookes.** Llamado “molino de luz” fue inventado por el químico inglés William Crookes en 1873. Dicho aparato consiste en una esfera de cristal, en la cual se ha hecho el vacío (o semivacío), y en cuyo interior hay cuatro brazos que sostienen una placa o aspa cada uno. Estas aspás, que están ennegrecidas por un lado mientras que por el otro son claras, pueden girar alrededor de un hilo fino. El funcionamiento básico de este radiómetro consiste en que al incidir la luz sobre las aspás se calienta más el lado oscuro que el claro, por lo que las moléculas se mueven a una velocidad media más alta en el lado caliente (oscuro) que en el lado frío (claro), por lo que en promedio, habrá más choques de partículas en el lado caliente, lo que producirá una fuerza hacia el lado frío, provocando que las aspás giren en esa dirección. Cuanta más velocidad en el giro mayor es la intensidad de la radiación incidente.



Figura 1. Ejemplo del radiómetro de Crookes.  
Fuente: Wikimedia Commons.

**Radiómetro de Nichols.** Inventado por el físico norteamericano E.F. Nichols a finales del siglo XIX. Su principal función era medir la presión de radiación. Este instrumento consiste de dos espejos de cristal plateados por una cara, que se encuentran suspendidos de una delgada fibra (generalmente de cuarzo) que está en equilibrio de torsión. El sistema se encuentra inmerso en un recipiente en donde se puede regular la presión del aire.

El cabezal de torsión al cual está unida la fibra se puede girar desde el exterior por medio de un imán. Para realizar las medidas se dirige un haz luminoso hacia uno de los espejos plateados y después hacia el otro, determinando las desviaciones opuestas por medio de una escala y un espejo. Al girar el sistema haciendo que los espejos reciban la luz por su lado no plateado se puede comprobar la influencia del aire. La energía radiante del haz incidente también puede ser determinada a partir de su efecto térmico sobre un pequeño disco de plata ennegrecido.

**Piranómetro bimetalico.** El aparato consiste en una sucesión de láminas metálicas pintadas alternativamente de blanco y negro las cuales conforman una superficie circular. El principio de funcionamiento consiste en que las láminas oscuras se calientan más que las claras al recibir la radiación solar, por lo que se produce una diferencia de temperatura entre las láminas que causa una curvatura proporcional a la radiación solar incidente y que es transmitida a un mecanismo registrador. Las láminas bimetalicas están protegidas de los elementos atmosféricos por una cúpula de vidrio.



Figura 2. Ejemplo de un piranómetro formado por láminas bimetalicas. Fuente: Imagen propia.

**Piranómetro termoelectrico.** La radiación entrante es absorbida por una superficie ennegrecida que incrementa su temperatura en función de la radiación incidente, y que se mide a través de termopares conectados para conformar una termopila. Las uniones activas (calientes) de la termopila se sitúan debajo de la superficie ennegrecida para calentarse y las uniones pasivas (frías) se mantienen unidas a un disipador térmico (generalmente la carcasa del dispositivo). Las diferencias registradas por estas uniones se utilizan para medir la radiación. El dispositivo suele estar protegido por cúpulas de cristal.

**Piranómetro fotovoltaico.** En este caso la radiación llega a un elemento sensible (fotodiodo) que es capaz de generar una diferencia de potencial dependiente de la radiación incidente. Mediante la lectura del voltaje generado se establece la medida de la radiación incidente.

**Piranómetro químico.** Algunos piranómetros se basan en las reacciones de productos químicos frente a la radiación recibida, las cuales están calibradas y permiten medir la intensidad de la radiación.

Los radiómetros meteorológicos deben ubicarse en zonas abiertas y fijas para evitar errores en la medición. Deben evitarse fuentes de obstrucción de la radiación, tales como árboles o edificios, que puedan provocar sombras y alterar el resultado de la medición. También hay que tener en cuenta que se encuentren lejos de fuentes artificiales de radiación, tales como farolas, para evitar sobreestimaciones de la radiación.

Medir la radiación solar es importante para:

1. Estudiar las transformaciones de la energía en el sistema Tierra-Atmósfera.
2. Analizar las propiedades y distribución de los elementos que constituyen la atmósfera, tales como aerosoles o vapor de agua, entre otros.

3. Analizar las características y variaciones de la radiación que llega a la superficie terrestre.
4. A través de la información obtenida acerca de las características de la radiación, satisfacer las necesidades de diversos sectores como la biología, medicina, agricultura, ingeniería o industria, cuyas actividades son dependientes de la radiación solar incidente.

## CONSTRUIR Y USAR UN RADIÓMETRO CASERO



Vamos a construir un radiómetro de Crookes casero

### Material

- 1 tarro de Cristal
- Papel de Aluminio
- 1 cartulina negra
- Cerillas
- Hilo
- Pegamento
- Tijeras

### Procedimiento

1. Primeramente se corta la cartulina negra para formar 4 aspas en forma rectangular y todas del mismo tamaño. A continuación se forra uno de los lados de cada aspa con papel de aluminio.
2. Una vez que se preparan las 4 aspas, negras por un lado y plateadas por el otro, se pega cada una en un lado de una cerilla de forma que se construya una especie de molinete con 4 aspas. En este proceso hay que tener en cuenta que todos los lados negros de las aspas deben de quedar orientados hacia el mismo lado (lo mismo con los lados plateados).
3. Una vez construido el molinete, se pega un extremo del hilo a la punta de la cerilla y el otro extremo del hilo se pega a la tapa del tarro de cristal.
4. Finalmente se cierra el tarro de cristal con la tapa de tal forma que el molinete que se ha construido quede en suspensión dentro del tarro.
5. Una vez terminado este proceso, ya estaría construido el radiómetro de Crookes casero.

Para comprobar que funciona correctamente el radiómetro que se construyó, se puede colocar en una habitación oscura cerca de una bombilla. Si el procedimiento fue correcto al poco tiempo el molinete debería comenzar a girar. Si además se varía la intensidad de la fuente de iluminación la velocidad de giro debería de cambiar de acuerdo con la intensidad de la fuente.



*Figura 3. Ejemplo de un radiómetro de Crookes casero. Fuente: <https://lacienciaencasa3.wordpress.com/2014/12/07/radiometro/>.*

# Ozonómetro

Ignacio Arturo Ramírez González y Juan Antonio Añel Cabanelas

## HISTORIA

Christian Friedrich Schönbein (1799 – 1868), un químico germano-suizo descubridor del ozono en 1840, desarrolló un método de medición de ozono troposférico basado en reacciones químicas que se popularizó durante la segunda mitad del siglo XIX. En la década de 1930 aparecieron los primeros ozonómetros basados en la idea de la existencia de ozono en toda la atmósfera y su absorción de radiación ultravioleta. En la década de 1970 se estableció como método más común para mediciones in situ.

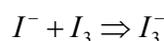
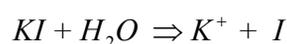
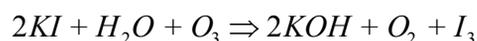
## DESCRIPCIÓN

Un ozonómetro es un instrumento que mide la concentración de ozono de la atmósfera que rodea al aparato. Aquí se introduce la medición de ozono utilizando dos métodos distintos. El primero conocido como método de Schönbein, fue desarrollado tras el descubrimiento de dicha sustancia en el siglo XIX. El segundo fue desarrollado durante el siglo XX y es el más utilizado en la actualidad.

**Método de Schönbein.** El método de medición de ozono troposférico de Schönbein fue usado como indicador de presencia de ozono en la atmósfera. Se trata de un método muy sencillo basado en la exposición de una tira de papel al aire libre, a cubierto de la luz solar, y que dependiendo de su coloración al mojarla en agua destilada (dependiente de la cantidad de ozono que haya absorbido del aire) nos da un valor de medida.

El tiempo de exposición que se suele usar como referencia son 12 horas, pero también se han utilizado en el pasado mediciones de 24 horas o de 8 horas. También existen diferencias en la fabricación del papel de medida o en la composición química en la que se impregna el papel para que absorba ozono.

Las tiras de papel se suelen impregnar de una disolución de yoduro potásico y almidón en agua destilada. La coloración final de la tira es el resultado de cuatro reacciones que se producen con su composición química.



En estas reacciones se observa la importancia del ozono y la humedad del ambiente en las mismas. Es la última ecuación química la que provoca la coloración final de la tira al sumergirla en agua destilada. Esta coloración varía desde el blanco original hasta un morado oscuro.

Históricamente se suministraba una escala de coloración que también variaba en sus niveles según el fabricante. Esta variación venía dada por la cantidad de divisiones que había entre el blanco y el morado oscuro. Schönbein estableció una escala de 0-10, mientras que Berigny y Salleron establecían una graduación de 21 niveles de diferencia.

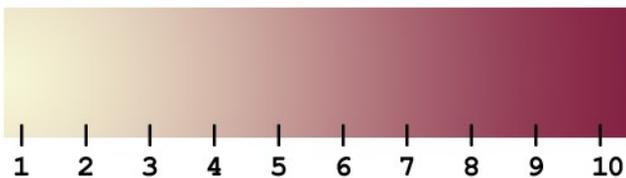


Figura 1. Ejemplo de escala de coloración de Schönbein.

### Ozonómetro de absorción ultravioleta.

El método de medida que presentamos aquí se basa en la fuerte absorción óptica del ozono en las bandas de absorción de Hartley (200-300 nm) y Huggins (300-350 nm). La medición con este método necesita de una fuente de luz artificial (normalmente una lámpara de mercurio o hidrógeno) y un detector que sea capaz de discernir entre múltiples longitudes de onda.

El fundamento teórico es muy simple. En primer lugar se mide en vacío una muestra de aire limpio, es decir, sin ozono. A continuación se procede a pasar aire del ambiente y la diferencia que existe entre las dos medidas nos permite saber la concentración de ozono utilizando la siguiente ecuación (para un montaje de dos celdas).

$$C = \frac{-1}{2\sigma L_{opt}} \frac{T}{T_{std}} \frac{P_{std}}{P} \ln(D)$$

Donde  $\sigma$  es la sección de absorción del ozono a 253,70 nm bajo condiciones normales. El valor usado es:  $1,1476 \times 10^{-17} \text{cm}^2 \text{moleculas}^{-1}$ .  $L_{opt}$  es la longitud entre el sensor y el emisor.  $T$  es la temperatura medida en las celdas.  $T_{std}$  es la temperatura normal (273,15 K).  $P$  es la presión en las celdas.  $P_{std}$  es la presión normal (1013,25 hPa).

$D$  es el producto de las dos transmitancias de cada celda ( $D = T_1 \times T_2$ ).  $T$  es la transmitancia de cada celda, definida como el cociente entre la intensidad medida en el sensor cuando pasa el aire con ozono y la intensidad medida en el sensor cuando pasa el aire libre de ozono.

Según se fue desarrollando el método, se fueron usando distintas bandas de absorción hasta ser la más usada actualmente la banda de Hartley, debido a la fuerte absorción del UV del ozono en la misma. Para ello, lo más común es utilizar una lámpara de mercurio emitiendo en 253,7 nm como fuente de emisión de luz. Al montaje de emisor de luz y receptor se le denomina celda óptica.

Los ozonómetros de absorción pueden venir en dos configuraciones: de una celda o de dos celdas. En el caso de una celda, la muestra de aire y el aire limpio de ozono, que es pasado por un filtro de destrucción del mismo, son pasadas secuencialmente por la celda. La doble celda funciona midiendo en la primera la muestra de aire obtenida del exterior y en segunda la de aire limpio pasado por el filtro de destrucción de ozono. Alternativamente se intercambian los procesos entre las celdas. Este último montaje es el que mejor funciona ya que permite suplir los cambios en la intensidad de la luz o interferencias de otras especies.

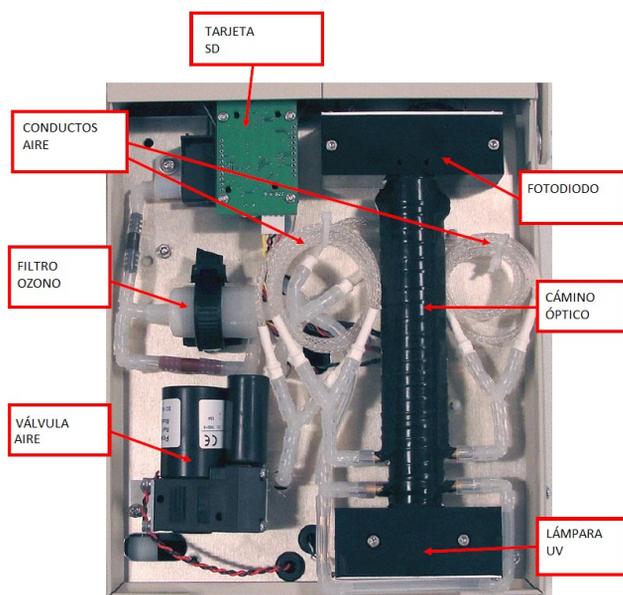


Figura 2. Montaje de un ozonómetro de absorción UV, Modelo 205 de 2B Technologies. Fuente: Imagen propia.

Actualmente es el método más usado para medir ozono debido a su rendimiento en cuanto a límite de detección, estabilidad de la sensibilidad o posibles interferencias. También destaca el poco mantenimiento que necesita para largas campañas de medición.

## ELABORACIÓN DEL MÉTODO SCHÖNBEIN CASERO



### Material

- 1 vaso de precipitados
- Yoduro potásico
- Almidón
- Agua destilada
- Papel de secado o papel de filtro
- Bolsas de plástico con cierre zip

### Procedimiento

1. Primeramente elaboraremos las tiras de medición. Para ello usaremos una disolución de yoduro potásico y almidón en agua destilada.
2. En un vaso de precipitados tendremos 100 ml de agua destilada. Los pondremos a calentar hasta una temperatura próxima a los 80 °C.
3. Vertemos 10 g de almidón y removemos hasta obtener una mezcla gelatinosa. (Cuidado con no llevar a ebullición, pueden romperse las cadenas de los polisacáridos que lo forman).
4. Añadimos 1 g de KI y removemos hasta que quede homogéneo.
5. Dejamos enfriar en un lugar a cubierto de la luz solar. Una vez frío introducir las tiras (de un tamaño orientativo de 2 cm x 8 cm) de papel de secado o papel de filtro durante dos horas.
6. Pasadas las dos horas, retirar de la disolución las tiras y dejarlas secar en posición horizontal (también a cubierto de la luz solar y en un ambiente limpio de ozono (ya son reactivas)).
7. Guardar en bolsas zip una vez secas.



*Figura 3. Coloración de las tiras según los pasos de medición del ozono. De izquierda a derecha: tira sin exponer y seca, tira expuesta 12 horas, dos tiras tras ser mojadas en agua destilada y que han absorbido distintas concentraciones de ozono. Fuente: Imagen propia.*



# REFERENCIAS

## **BIBLIOGRAFIA CORRENTÓMETRO**

- Riser, S.C. et al. (2016) *Fifteen years of ocean observations with the global Argo array*, Nature Climate Change 6, 145-153.
- Sverdrup, H.U., Johnson, M.W. and Fleming, R.H. (1942) *The Oceans Their Physics, Chemistry, and General Biology*. Prentice- Hall.

## **BIBLIOGRAFIA CTD**

- Larson, N.G. (1993) *Calibration of Oceanographic CTD Instruments: Methods and Traceability*, Journal of Advanced Marine Technology Conference 7, 3-13.
- UNESCO Technical Papers in Marine Science (1983) *Algorithms for computation of fundamental properties of seawater*, UNESCO Division of Marine Science (Paris), 44 53pp.

## **BIBLIOGRAFÍA HIGRÓMETRO**

- Martín, C. & Pina, J. (2014) *El psicrómetro portátil Assman, mucho más que un medidor de humedad relativa*. Naturalmente MNCN. CSIC. 2, 17-19.

## **BIBLIOGRAFÍA TERMÓMETRO**

- Peterson, T.C. and Russell, S.V. (1997) *An overview of the Global Historical Climatology Network temperature data base*, Bulletin of the American Meteorological Society, 78 (12), 2837-2849. doi:10.1175/1520-0477.
- Sherry, D. (2011) *Thermoscopes, thermometers, and the foundations of measurement*, Stud. History Philos. Sci. 42, 509,524.
- Sánchez González, R., Gómez Viñas, P. y Orro Arcay, M. (2014) *Centenario del Observatorio de A Coruña. Un siglo de registros climáticos en Galicia*. 229pp Edita Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Agencia Estatal de Meteorología (AEMet). Madrid, 2014. NIPO (versión web): 281-14-010-8.
- AEMet (2015) *Guía para la Observación Nivometeorológica*. 107 pp. Edita Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Agencia Estatal de Meteorología (AEMet). Madrid, 2015. NIPO: 281-15-024-6.
- AEMet (2015) *Manual de uso de términos meteorológicos*. [http://www.aemet.es/es/conocer/recursos\\_en\\_linea/publicaciones\\_y\\_estudios/publicaciones/detalles/Manual\\_de\\_uso\\_de\\_terminos\\_met\\_2015](http://www.aemet.es/es/conocer/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/publicaciones/detalles/Manual_de_uso_de_terminos_met_2015).

- Meteogalicia: Glosario de meteorología ([http://www.meteogalicia.gal/web/informacion/glosario/glosarioIndex.action?request\\_locale=es](http://www.meteogalicia.gal/web/informacion/glosario/glosarioIndex.action?request_locale=es)).

### **BIBLIOGRAFÍA RADIÓMETRO**

- Picatoste, F. (1989) *Elementos de Física y Química*. Madrid, Librería de la Viuda de Hernando y C<sup>a</sup>, 100pp.
- Valladares, B. (1900) *Tratado de física elemental*. Bilbao, Imprenta del Corazón de Jesús. 453pp.
- Grosi Gallegos, H. (2001) *Medición de la radiación solar en la superficie de la Tierra: Instrumental y errores asociados*. III Jornadas Iberoamericanas sobre energías renovables. Solarimetría. Universidad Nacional de Luján / Servicio Meteorológico Nacional de Argentina.
- Agencia Estatal de Meteorología (AEMet) ([www.aemet.es](http://www.aemet.es)).

### **BIBLIOGRAFÍA BARÓMETRO**

- [http://www.ambientum.com/enciclopedia\\_medioambiental/atmosfera/Conceptos-generales-en-meteorologia.asp#](http://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/atmosfera/Conceptos-generales-en-meteorologia.asp#).
- <https://es.wikipedia.org/wiki/Barómetro>.
- <http://www.ufjf.br/labcaa/equipamentos>.
- [http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/AYC/document/atmosfera\\_y\\_clima/presion/medirpres2.htm](http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/AYC/document/atmosfera_y_clima/presion/medirpres2.htm).

### **BIBLIOGRAFÍA PLUVIÓMETRO**

- Programa educativo Red de excelencia europea EUR-OCEANS <http://www.euroceans.info>. Kit “estación meteorológica”. Monitorea el clima y únete a la red de pequeños observadores de EUR-OCEANS !.

### **BIBLIOGRAFÍA OZONÓMETRO**

- Marengo, A. (1995) *Evolution de l’ozone Troposphérique au cours du XX-ème siècle*, CNRS-France, Laboratoire d’Aéologie, Lettre pigb-pmrc, 10-11.

- Bojkov, R.D. (1986) *Surface ozone during the second half of the Nineteenth Century*, J. Climate and Appl. Meteorol, 25, 342-352.
- World Meteorological Organization (2013) *Guidelines for Continuous Measurements of Ozone in the Troposphere*, GWA Report n°9.





Environmental | Physics | Laboratory  
**EPhysLab**