

á la aguja *u*, la cual se inclina de derecha á izquierda, trazando una raya en el cilindro dado de negro. Las rayas sucesivas forman una curva tanto más larga cuanto mayor es la velocidad del viento. De hora en hora queda interrumpida del modo siguiente:

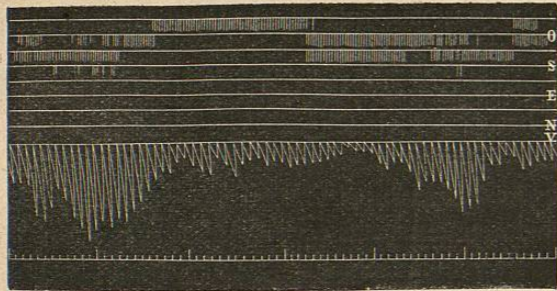


Fig. 193.—Diagramas del anemómetro, que marcan la dirección y velocidad del viento

una corriente que llega en tal momento á animar el electroimán *E* hace bajar la armadura *a* y la rueda *m*; como entonces la rueda *z* queda libre, la hebra de seda tirada por un contrapeso lleva la aguja *u* á su punto de partida para volver á empezar otra curva. Si la punta de esta aguja recorre un milímetro á cada vuelta de la rueda *x* del anemómetro, ó sea á cada kilómetro recorrido por el viento, compréndese que, examinando las curvas del papel del cilindro, se podrá conocer la velocidad de aquél á cualquier hora del día.

La figura 193 es la reproducción de los trazados del anemómetro que acabamos de describir en tres días consecutivos de 24 horas. La línea graduada de la parte inferior del grabado es una línea de referencia, cada uno de cuyos trazos ó divisiones corresponde á una hora de los tres días. Encima, y en una línea señalada con una *V*, se ve una serie de curvas oblicuas de longitudes desiguales; son las de que acabamos de hablar en último lugar; con su longitud marcan la velocidad del viento durante cada hora: la curva que se ve en sus extremos presenta á la vista las variaciones sucesivas de esta velocidad. Más arriba hay ocho líneas horizontales que corresponden á las direcciones del viento de los cuatro puntos cardinales y á sus intermedias. Los trazos verticales que de ellas bajan indican cuál era, á la hora correspondiente, la dirección del viento que soplaba á la sazón. En ciertos puntos se sobreponen dos direcciones, O. y SO. por ejemplo. Esto indica que á tales horas la dirección del viento estaba comprendida entre esos dos rumbos, y por consiguiente era poco más ó menos de OSO.

En el Observatorio de Montsouris marcaban en un principio la *presión del viento* cuatro conos fijos dirigidos hacia los puntos cardinales, conos que, puestos en los cuatro ángulos de la plataforma del poste de los anemómetros (fig. 194), comunicaban con el interior del pabellón de los aparatos anotadores por medio de cuatro tubos de cobre de unos 24 metros de largo. Cada tubo terminaba en otro de caucho, que se introducía en una cajita de barómetro metálico. Agrupando estas cajas dos á dos con *vientos opuestos*, la presión era positiva en la una y negativa en la otra, y su diferencia (ó suma algebraica) era lo que la aguja marcaba en el cilindro del anotador. Los dos resultados obtenidos daban las componentes rectangulares de la presión, de las cuales se podía deducir la presión total. "Pero las indicaciones de los

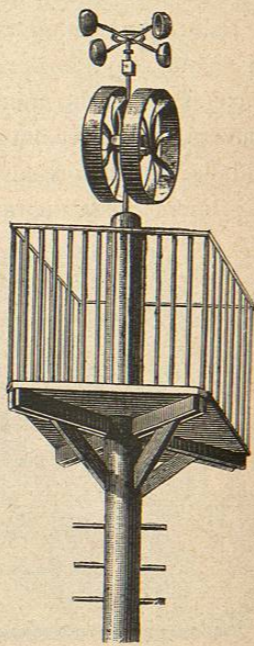


Fig. 194.—Plataforma del poste de los anemómetros en el Observatorio de Montsouris.

golpes de viento, dice el *Anuario de 1878*, eran complicadas á causa de su incesante movilidad. El resumen de los datos anotados era poco seguro y sumamente difícil. Estos inconvenientes han decidido al director del Observatorio á reemplazar el sistema que acabamos de describir con nuevos aparatos, con cuya descripción terminaremos este artículo.

El anemómetro multiplicador de E. Bourdón, que está representado en sus partes esenciales en las figuras 195 y 196, tiene por principal objeto la medida y anotación de las presiones del viento y de sus variaciones. Su construcción está basada en las propiedades de los *tubos de Venturi*. Dase este nombre, del de su inventor, á un sistema particular de tubos ensamblados, aplicado á la salida de los líquidos ó de los gases, sistema formado de dos tubos cónicos desiguales, reunidos por sus bases menores. Si con un ventilador ó por otro medio análogo se introduce aire por una de las aberturas del tubo bicónico, la velocidad de la corriente del aire irá acelerándose hasta la parte de la sección más pequeña, es decir, hasta el punto de reunión de los dos tubos, uno de los cuales es convergente y el otro divergente. Si se pone un manómetro de agua en el orificio de entrada de la corriente y otro en la sección menor, se verá que siendo una la columna de agua levantada en el orificio por la presión ocasionada por el ventilador, la que marcará el segundo manómetro será 6; sólo que esta segunda presión será negativa, á causa del vacío producido en este punto por la aceleración de la velocidad de la corriente.

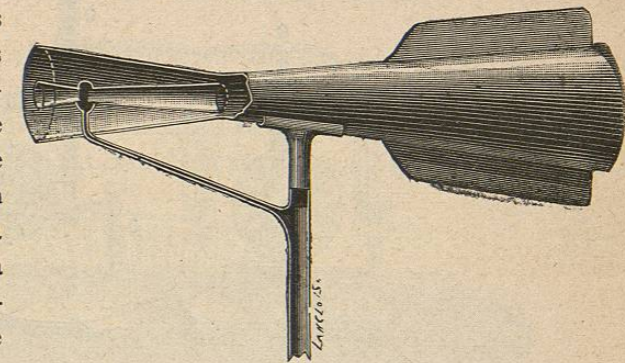


Fig. 195.—Anemómetro multiplicador de Bourdón

M. Bourdón ha multiplicado esta acción neumática de los tubos de Venturi, poniendo un segundo tubo más pequeño dentro del primero. Las dimensiones de este nuevo tubo son bastante reducidas para que sólo ocupe la parte central de la sección más pequeña del tubo que lo rodea; además, la extremidad divergente del tubo interior ocupa exactamente el punto adonde van á reunirse los vértices de los conos truncados del tubo grande. Claro está que con esta disposición, representada en la figura 195, la velocidad de la corriente gaseosa que penetre por el orificio del tubo menor aumentará un grado más al llegar á la sección más pequeña de este último. En efecto, el orificio de salida del tubo interior desemboca en un punto del mayor, en el que según hemos visto, el aire está ya considerablemente enrarecido. La salida se efectuará en él no tan sólo bajo la acción propulsora de la corriente aérea, sino también bajo la influencia de la presión atmosférica que gravita con todo su peso sobre el orificio de entrada. Los experimentos han demostrado que la aceleración de velocidad con un solo tubo interior está en la proporción de 1 á 4²5, no siendo menor de 1 á 20 la diferencia entre las presiones. La introducción de un tercer tubo en el segundo aumentaría en un grado la aceleración de las velocidades ó la diferencia entre las presiones, con lo cual queda justificado el nombre de *anemómetro multiplicador* dado á un aparato de esta clase. Digamos ahora cómo se le aplica á las observaciones meteorológicas.

La parte exterior del aparato (fig. 195) no es otra cosa sino un sistema de dos tu-

bos Venturi, metido uno dentro de otro según las reglas que acabamos de indicar. Puesto sobre un eje móvil y provisto de dos aletas que ofrecen asidero á la acción del viento, este doble tubo forma una veleta que se orienta por sí misma en la dirección del viento reinante. Al soplar la corriente aérea en los orificios de entrada de uno y otro tubo, y al penetrar en su interior, sufre la aceleración de velocidad de que acabamos de tratar y que tiene por consecuencia, en los puntos de unión de los extremos truncados de los conos, la diferencia de presión en razón de esta aceleración de velocidad. Resta ver cómo se mide y se anota esta diferencia de presión y cómo se deduce de ella la del viento.

Los extremos truncados de los conos que forman el pequeño tubo interior no están unidos, sino que entre ellos queda un reducido espacio libre cubierto con un manguito hueco; de éste parte un tubo cilíndrico que desemboca en el eje hueco del anemómetro.

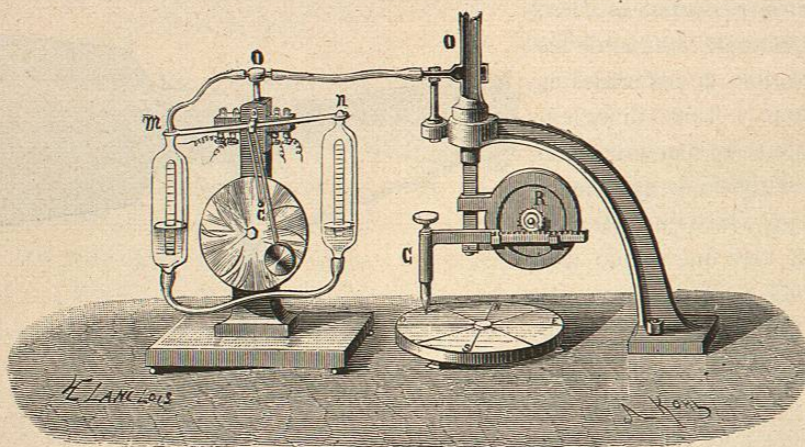


Fig. 196.—Anotador del anemómetro multiplicador de Bourdón

tro, baja á lo largo de este eje, y penetra en la sala donde está instalado el aparato anotador. Al llegar allí comunica en O con un tubo lateral que pasa al manómetro de agua destinado á medir la diferencia de presión del manguito. La figura 196 indica en qué consiste este manómetro. Dos vasos cilíndricos graduados *m n*, cuyos fondos inferiores están en comunicación por medio de un tubo de goma, penden de los extremos de una pieza metálica que oscila alrededor de su punto medio como el fiel de una balanza. De este punto medio parte en ángulo recto con el fiel una varilla que lleva un contrapeso, y otra más pequeña con un lápiz *c* que roza con un disco vertical de papel.

Cuando la velocidad y la presión del viento son nulas, también es nulo el enrarecimiento en el manguito hueco del anemómetro; los vasos comunicantes indican con la igualdad de altura de las columnas de agua que contienen la igualdad de sus presiones interiores; el fiel está horizontal y el lápiz no traza más que un punto en el centro del disco giratorio. Si la velocidad y la presión del viento aumentan, el fiel se inclina hacia el lado del vaso que comunica con el tubo y el manguito y cuya columna de agua propende á elevarse, y el lápiz traza una curva cuya amplitud está en relación con la velocidad ó la presión del viento. Al cabo de veinticuatro horas, el disco, movido por un mecanismo de relojería, conserva así las huellas de las variaciones de presión que ha tenido el viento en este espacio de tiempo.

El anotador del anemómetro multiplicador marca también la dirección del viento. Con este objeto, el eje del anemómetro lleva en su parte inferior y en ángulo recto con su dirección una pieza provista de un lápiz vertical *C*. Esta especie de compás anemométrico traza arcos concéntricos en un disco horizontal dividido como la rosa de vientos. Para distinguir estos arcos según la hora del día en que el lápiz los traza, un aparato de relojería imprime al brazo horizontal que lleva el lápiz un movimiento uniforme que hace que este último avance en veinticuatro horas desde un punto inmediato al centro del disco hasta su circunferencia. Considerando las líneas trazadas en el papel al cabo de dicho tiempo, se ve cuáles han sido los cambios de dirección del viento á distintas horas, y cuánto tiempo ha soplado en el mismo rumbo.

III

VARIACIONES DEL VIENTO PERIÓDICAS, DIURNAS Y ANUALES

Las observaciones anemométricas pueden servir para dos objetos, para la solución de dos problemas cada uno de los cuales tiene su importancia especial en meteorología. El uno atañe más particularmente á la climatología; el otro á la meteorología dinámica, ó, si se quiere, al estudio de la circulación atmosférica general. En este segun-

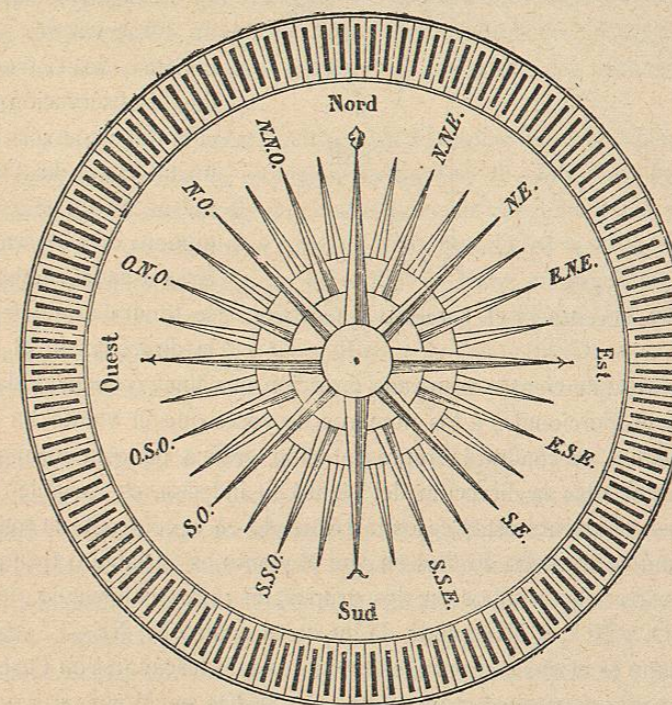


Fig. 197.—Rosa de vientos

do caso, como los datos reunidos en un punto dado, así en tierra como en mar, indican, con relación á las diferentes épocas del año, la dirección probable del viento según su frecuencia en cada rumbo, su velocidad é intensidad, no serán más que un elemento entre los millares ó los millones de elementos necesarios, pero á la verdad elemento indispensable para el descubrimiento de las leyes de esta circulación, descubrimiento tan

útil para la navegación y para otros ramos de la actividad humana. Los mismos datos considerados aisladamente pueden servir para caracterizar el clima de las regiones en que se los ha reunido.

Y en efecto, los vientos que soplan de los diferentes puntos del horizonte en cada región del globo tienen propiedades físicas muy distintas, variables también con las estaciones. Unas veces las masas de aire que llevan consigo están á una temperatura más elevada que la que sustituyen, ó por el contrario más baja; otras veces están más cargados de humedad ó son más secos, y producen ó hacen cesar la lluvia, las nieves, las tormentas. En estos casos interesa mucho conocer las leyes de su sucesión, de su frecuencia y de su duración relativas, así como las variaciones de su velocidad; y si se consiguiera averiguar así la masa de aire que llega de cada dirección durante el año, se

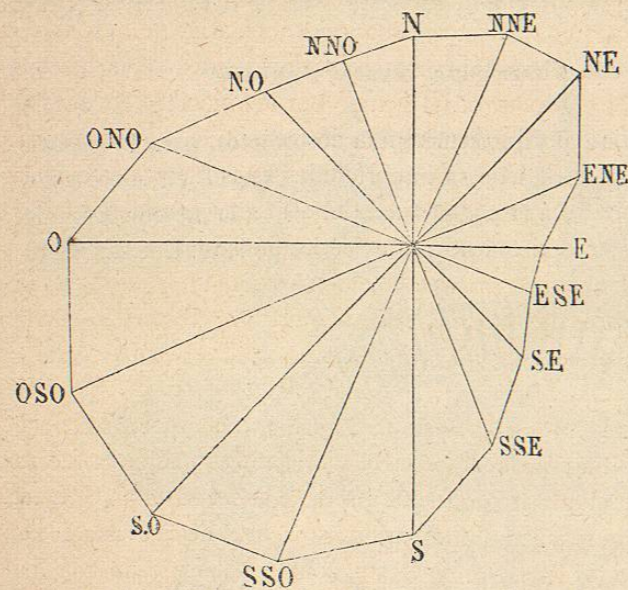


Fig. 198.—Rosa de la dirección y de la frecuencia de los vientos

tendría uno de los factores más eficaces del clima de la región en que se han hecho las observaciones. Procuremos dar una idea de lo que se ha practicado en esta clase especial de indagaciones. Si se hace diariamente en un Observatorio meteorológico, una, dos ó tres veces por día, la observación de la dirección del viento; si después de un intervalo de 3 meses, de 6 meses, de un año se reúne el número de observaciones relativas á cada rumbo de viento, se tendrá así la frecuencia de la dirección en el lugar dado. Trazando en una rosa de vientos y en cada dirección una línea ó flecha, y dando á estas líneas longitudes proporcionales á los números de veces que el viento ha soplado en cada una de aquéllas, se tendrá la representación gráfica de esta misma frecuencia (fig. 198). En ciertos días la dirección del viento es indecisa, es variable ó hay calma completa: se tienen en cuenta estos casos inscribiendo en el centro de la rosa un círculo cuyo radio es el número medio de días en que el viento es variable ó tranquilo.

Si se dividen los ocho rumbos en dos grupos, el primero formado de los cuatro vientos S., SO., O. y NO., y el segundo de los otros cuatro N., NE., E. y SE., se nota que el primer grupo es el que comprende los vientos más frecuentes en París; y en efecto, por término medio anual los primeros soplan 202 días en Montsouris, y los segundos sólo 118. Como se acostumbra designar á éstos con el nombre de *vientos polares* y á aquéllos con el de *ecuatoriales*, equivale á decir que los vientos ecuatoriales son los dominantes en la región en que se halla situado el Observatorio de Montsouris.

La frecuencia relativa de los vientos varía naturalmente de una región á otra. En la India la diferencia entre los vientos ecuatoriales y los polares no es tan grande como en Francia, pues de 1.000 vientos, 467 soplan de la región Sur y 433 de la región Norte. Sin embargo, el Sudeste sigue siendo la dirección predominante.

La influencia de las estaciones no es menos marcada. Según las observaciones hechas por Hardwicke en Calcuta por espacio de ocho años, hay marcada oposición entre la dirección de los vientos dominantes durante los meses de invierno (octubre á marzo) y la de los que reinan durante los seis meses de verano (abril á septiembre). En invierno predominan los vientos del NO., y en verano del SE. al SO. Esta oposición no existe, por decirlo así, en nuestros países, en donde los vientos ecuatoriales son los más frecuentes, no sólo en el año entero, sino en cada estación y en cada mes del año.

Sería interesante conocer, respecto de cada lugar, lo que se llama *dirección media del viento*, es decir, la resultante de todos los movimientos del aire en un tiempo dado, por ejemplo, durante un año. Lograriase esto si se supiera: 1.º, por espacio de cuánto tiempo ha soplado el viento en una dirección cualquiera de la rosa; 2.º, con qué velocidad ó fuerza se ha movido en cada una de estas direcciones. Bastaría entonces considerar los diferentes vientos como otras tantas fuerzas divergentes de un mismo punto, medir cada una de ellas por el producto del tiempo por la velocidad, y considerar como positivo el producto afecto al viento que sopla en un sentido, y como negativo el que procede del viento opuesto. La resultante de todas estas fuerzas en magnitud y en dirección daría la dirección media del viento en el lugar considerado. Por desgracia, hasta ahora se han tenido datos insuficientes en lo que respecta á la velocidad del viento, y ha habido que limitarse á este promedio considerando como igual la fuerza de los vientos en las diferentes direcciones. Tampoco se conoce con exactitud la duración y se la ha sustituido con el número de observaciones hechas relativamente á cada rumbo.

Lambert ha calculado en esta hipótesis las fórmulas mediante las cuales se puede conocer el ángulo que forma la dirección media con el meridiano, así como la fuerza del viento resultante, ó mejor aún el número de veces que debe haber soplado. Schouw ha adoptado otro método; busca la relación numérica de los vientos de cada una de las cuatro direcciones principales, Norte, Este, Sur y Oeste, contando para cada una los dos rumbos intermedios de cada lado; para el Norte, los vientos del Noroeste, Norte y Nordeste; para el Este, los del Nordeste, Este y Sudeste, etc. De aquí deduce la dirección de mayor frecuencia; pero esta regla no puede dar más que resultados aproximados.

En resumen, no podrá resolverse la interesante cuestión de la dirección media de los vientos sino con la condición de unir á las observaciones de duración las relativas á la velocidad, resultado que únicamente podrán facilitar los instrumentos anotadores.

¿Está sujeta la velocidad del viento, como los otros elementos meteorológicos, presión barométrica, temperatura, estado higrométrico, etc., á variaciones periódicas diurnas, mensuales y anuales?

Las observaciones demuestran que hay un período diurno, y que la fuerza del viento va aumentando de un modo progresivo desde las primeras horas de la madrugada hasta las primeras horas de la tarde. Según las investigaciones del profesor sueco Hamberg, "este es un fenómeno general que ocurre tanto en tierra como en mar y en todas las latitudes en que sale y se pone el Sol en cada intervalo de veinticuatro horas y sin que la dirección del viento pueda modificarlo." Cuantas observaciones se han hecho en Upsal, Cristianía, San Petersburgo, Viena, Praga, Bruselas, Perpiñán, Palermo, Nápoles, Wáshington, Santa Elena, Mauricio, Hobartown, Adelaida, Bombay y Marsella indican el mismo fenómeno. La cuestión que continúa indecisa es la de saber si la