

CAPITULO V

Temperatura solar. - Radiaciones luminosas. - Acción magnética del Sol

Determinar la temperatura del globo solar es un problema muy difícil, que han tratado de resolver varios astrónomos, ya por el cálculo, ya por observaciones directas. Los resultados obtenidos con el empleo de ambos métodos han sido completamente contradictorios, á causa de la desigualdad de las fórmulas matemáticas de que se ha hecho uso, en un caso, y á la semejanza de los aparatos é instrumentos empleados, en el otro. A primera vista, pudiera creerse que exponiendo un termómetro al Sol, leyendo el número de grados que marcara y aumentando este número proporcionalmente al cuadrado de la distancia, se obtendría la temperatura del globo solar; pero en este experimento obrarían como causas de error las radiaciones de los cuerpos inmediatos al termómetro, la influencia de la atmósfera y la graduación misma del instrumento; de otros medios, pues, han tenido que valerse los físicos y los astrónomos para llegar á la resolución de este problema.

Saussure y Herschel fueron los primeros que trataron de estudiar el asunto, y más tarde Pouillet continuó sus trabajos; este físico se propuso, según consta en su Memoria publicada en 1838: «Determinar la cantidad de calor solar que en un tiempo dado recoge perpendicularmente una superficie dada. La proporción de calor que absorbe la atmósfera, en el trayecto vertical de los rayos. La ley de la absorción para distintas oblicuidades. La cantidad total de calor emitida á cada instante por toda la superficie solar. Los elementos que es preciso conocer para averiguar si la masa del Sol se enfría gradualmente de siglo en siglo, ó si hay una causa destinada á reponer las cantidades de calor, que incesantemente pierde. Los elementos que permitan determinar su temperatura. La temperatura que tendría la superficie de la Tierra, si no fuese calentada por el Sol. La elevación de temperatura que resulta del calor solar. La relación de las cantidades de calor que la Tierra recibe del Sol, del espacio y de los demás cuerpos celestes.»

Para determinar la cantidad de calor que recibimos del Sol, construyó Pouillet un aparato, al que dió el nombre de *pirheliómetro* y que representamos en la fig. 42.

Está formado por un vaso cilíndrico plano, de plata ó de cobre plateado, de 10 centímetros de diámetro y de 14 ó 15 milímetros de altura, que contiene unos 100 gramos de agua; esta caja ó vaso sirve de calorímetro; en el centro va colocada la bola de un termómetro, cuya varilla se adapta á un tubo de metal con dos collares, sobre los que puede girar libremente. En el extremo opuesto del tubo se halla un disco de igual diámetro que el vaso y dispuesto paralelamente, que sirve para orientar el aparato por la proyección de la sombra que arroja el calorímetro, de manera que los rayos lleguen perpendicularmente á la

superficie del cilindro, la cual además está cubierta de negro de humo para aumentar su potencia absorbente. El tubo de latón que protege la varilla del termómetro lleva una hendidura longitudinal, para poder leer la graduación y anotar la altura de la columna de mercurio.

El experimento se efectúa del modo siguiente: al estar al pirheliómetro á la sombra, se anota la temperatura del agua del calorímetro, que será poco más ó menos la del aire ambiente; el instrumento debe colocarse en un paraje descubierto y próximo al lugar del experimento, de donde se distinga una porción

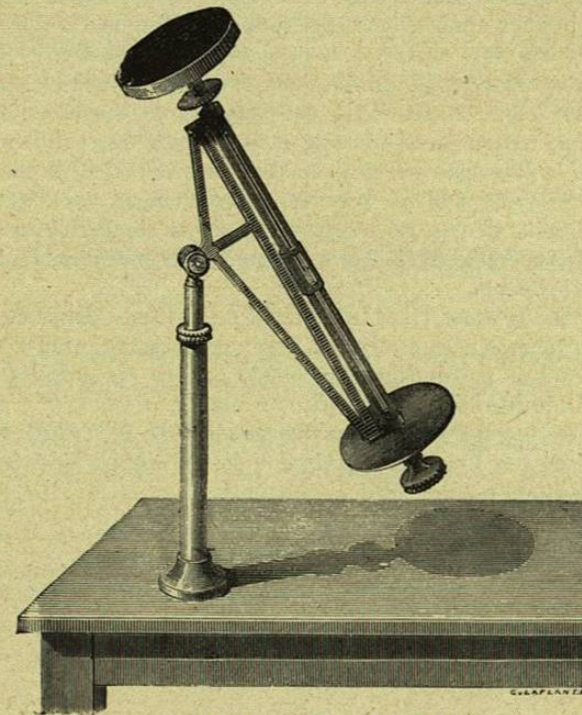


Fig. 42. - Pirheliómetro de Pouillet

del cielo igual, en todas las fases de la operación; el pirheliómetro, expuesto así á la radiación terrestre, baja en su temperatura, por lo general; anótase entonces la altura del mercurio, de minuto en minuto, hasta cuatro veces; en el quinto, se coloca detrás de una pantalla, de tal suerte orientado, que al levantarla á la conclusión de este minuto, los rayos del Sol caigan normales á la superficie ennegrecida de la caja; entonces, durante cinco minutos se anota, de minuto en minuto, la elevación de temperatura, que es muy rápida, teniendo cuidado mientras tanto de agitar el agua constantemente; al concluir el quinto minuto, se coloca de nuevo la pantalla, volviendo á situar el aparato en la primera posición, y se observa su enfriamiento durante cinco minutos más. La primera y la tercera observación permiten calcular la cantidad de calor perdida por la radia-

ción del instrumento hacia el espacio, mientras ha estado expuesto á la acción de los rayos solares, la cual viene á ser una media entre los enfriamientos observados, y sumándola al aumento de temperatura debido á la exposición directa al Sol, se obtiene la elevación de temperatura total.

De las observaciones hechas durante varios años con el pirheliómetro, dedujo Pouillet una ley, que representa con bastante exactitud el resultado total del conjunto; en sus cálculos entran como elementos el espesor de la capa atmosférica que atraviesan los rayos solares, la declinación del Sol y su distancia cenital, etc. Comparando las elevaciones de temperatura observadas en el pirheliómetro y los espesores atmosféricos correspondientes, notó Pouillet que en los resultados figuraban dos constantes: la primera fija, independiente del estado de la atmósfera; y la segunda fija tan sólo para el día de la observación, y variable de un día á otro, según la serenidad del cielo y la transparencia de las capas atmosféricas; una representa la *constante solar*, ó sea la que contiene como elemento esencial la potencia calorífica constante del Sol; mientras que la otra es la *constante atmosférica*, ó la que contiene como elemento esencial el poder de transmisión variable, de que se encuentra dotada la atmósfera, para dejar que lleguen hasta la superficie de la Tierra proporciones más ó menos importantes del calor solar incidente.

En la fig. 43, la línea H H' representa el horizonte del punto A, y S S' S'' S''' el Sol á diversas alturas, desde el cenit hasta algunos grados sobre el horizonte; el espesor de la atmósfera atravesado por los rayos solares puede ser 35 veces más considerable en el horizonte que en el cenit, si representamos por 1 el valor de la capa atmosférica que se eleva en la vertical. La tabla siguiente, calculada por Bouguer y Laplace, indica el espesor de la atmósfera en relación con la altura del Sol sobre el horizonte.

Alturas del Sol sobre el horizonte	Espesor de las capas atmosféricas	Alturas del Sol sobre el horizonte	Espesor de las capas atmosféricas
0	35	15	4
1	25	20	3
2	19	30	2
3	15	50	1
4	12	70	1
5	10	90	1
10	6		

El Sr. Crova, profesor de la Facultad de Ciencias de Mompeller, ha vuelto á medir en estos últimos tiempos la intensidad calorífica de la radiación solar y su absorción por la atmósfera terrestre, empleando el pirheliómetro de Pouillet y el de Tyndall, que se diferencia del anterior en que la caja de plata ó calorímetro es de acero, y se llena de mercurio en vez de agua. Las observaciones hechas en el interior de las ciudades están sujetas á varias causas de error muy difíciles de evitar, producidas por la absorción anormal de los vapores, por el humo de las chimeneas y aun por el polvo y la dirección de las corrientes de aire; por este motivo hizo el Sr. Crova sus observaciones definitivas en el campo

y á la orilla del mar, empleando, en vez de los instrumentos descritos anteriormente, un actinómetro, compuesto de un termómetro grande de alcohol absoluto, con un depósito esférico de 4 centímetros de diámetro y una varilla de 30 centímetros de largo; la superficie exterior de la bola está plateada y cubierta, por un procedimiento electroquímico, con una capa de cobre rugoso, sobre la cual se deposita otra de negro de platino; en el extremo del tubo va una esferita de cristal, y en el depósito se introducen algunas gotas de mercurio, que sirven de índice en la columna de alcohol. El instrumento se orienta, del mismo modo que el pirheliómetro, por medio de una pantalla, sobre la que se proyecta una bola de

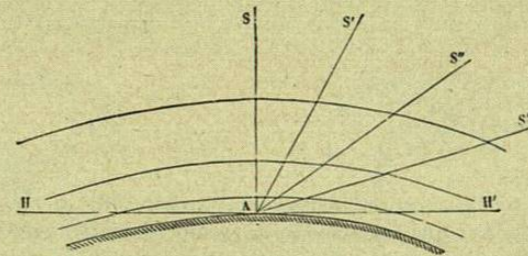


Fig. 43. — Desigualdad del espesor de la atmósfera atravesada por el Sol, según sus posiciones

latón, dentro de la cual va encerrado el depósito del termómetro; las indicaciones del índice sufren varias correcciones, según unas tablas calculadas con este objeto.

Para averiguar la cantidad de calor que recibe la superficie horizontal del suelo en distintas épocas del año, ha calculado el Sr. Crova las observaciones ejecutadas durante dos días normales, en los que haya brillado el Sol sin interrupción, en las épocas de los solsticios de invierno y de verano. Los días más favorables fueron el 4 de enero y el 11 de julio de 1876.

He aquí el resultado de las medidas:

4 DE ENERO DE 1870

	Calor recibido en 1 centímetro cuadrado	
	Normalmente	En la superficie del suelo
	calorías	calorías
1.º Del orto del Sol á mediodía	264.4	78.9
2.º Del mediodía al ocaso	270.6	82.3
3.º Del orto al ocaso del Sol	535.0	161.2

Las calorías (1) recibidas normalmente han variado entre 0 y 1,29 en nueve

(1) Se llama una caloría al equivalente de un trabajo igual á 425 kilográmetros, ó la cantidad de calor necesaria para elevar de 0 á 1 grado centígrado la temperatura de 1 kilogramo de agua.

horas de insolación, mientras que las recibidas en la superficie del suelo han variado entre 0 y 0,53 en el mismo espacio de tiempo. El calor recibido en el suelo ha sido 0,301 del calor normal.

11 DE JULIO DE 1876

	Calor recibido en 1 centímetro cuadrado	
	Normalmente	En la superficie del suelo
	calorías	calorías
1.º Del orto del Sol á mediodía	451.5	293.5
2.º Del mediodía al ocaso	424.9	280.6
3.º Del orto al ocaso del Sol	876.4	574.1

Las calorías recibidas normalmente han variado entre 0 y 1,21 en 15 horas de insolación; mientras que las recibidas en la superficie del suelo han variado entre 0 y 1,10 en el mismo espacio de tiempo. El calor recibido en el suelo ha sido 0,655 del calor normal.

El calor recibido normalmente el 4 de enero ha sido 0,610 del recibido el 11 de julio, y el recibido en la superficie del suelo en las mismas épocas y en igual relación, 0,281.

Estos resultados dan la medida exacta de las desigualdades producidas en invierno y en verano, así por la oblicuidad de los rayos solares, como también por el tiempo que permanece el Sol sobre el horizonte, entre los valores absolutos de la intensidad de la radiación solar, y entre las relaciones de la cantidad de calor enviada directamente, á la que se recibe en la superficie horizontal del suelo.

Según se deduce de los experimentos anteriores, un gramo de agua que presente una superficie de un centímetro cuadrado, se caldea en un minuto, 1º,763; conociendo, como conocemos, las dimensiones del globo terrestre, podemos calcular la cantidad total de calor que cae sobre uno de los hemisferios de la Tierra, ó sea sobre la sección del cono circunscrito á la Tierra y al Sol, que viene á ser la cuarta parte de la superficie del globo; luego tenemos que la radiación solar calentaría una capa de agua de un centímetro de espesor, extendida por toda la superficie terrestre, 0º4403, en un minuto de tiempo. En un año la radiación solar podría derretir una capa de hielo de 31 metros de espesor y que rodease toda la Tierra.

Multiplicando el valor que antecede por el cuadrado de la distancia que hay de nuestro planeta al Sol, expresada en radios solares, podemos evaluar la cantidad de calor emitida en la superficie de este astro, lo cual es suficiente para elevar en un minuto, hasta 816º,71 la temperatura de una capa de agua de un metro de espesor, ó para fundir en el mismo tiempo una capa de hielo del grueso de 10^m,7.

Los valores asignados por varios físicos á la temperatura del globo solar son

muy variables; he aquí una lista de las temperaturas obtenidas por varios autores que hemos consultado:

Pouillet	1.600 grados
Vicaire	3.000 »
Dewar	16.000 »
Zollner	27.000 »
Secchi en 1874	150.000 »
Waterston	9 000.000 »
Secchi en 1872	10.000.000 »

Flammarión y otros astrónomos estiman también que la temperatura de la superficie del Sol debe ser superior á varios millones de grados.

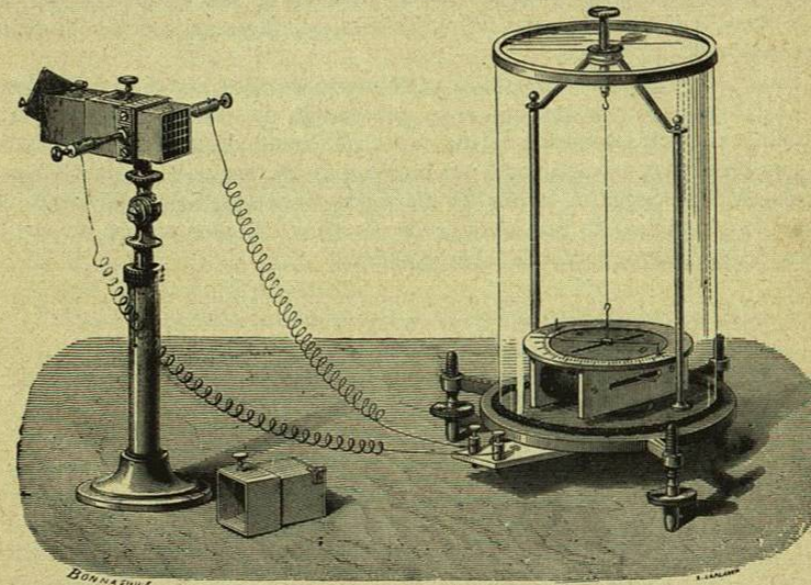


Fig. 44. - Pila termoeléctrica

Las grandes divergencias obtenidas en la evaluación de la temperatura del Sol, dependen principalmente de las diversas leyes admitidas para relacionar la radiación de los cuerpos incandescentes con su temperatura. Los estudios recientemente efectuados por el Sr. Le Chatelier sobre este delicado asunto, indican que la temperatura efectiva del Sol es de unos 7.600º con un error inferior á 1.000º. Otros físicos ingleses, equilibrando la radiación solar con la de una cinta de platino, caldeada á una temperatura conocida, y teniendo en cuenta el coeficiente de la absorción atmosférica, han deducido, después de numerosos experimentos, que la temperatura efectiva del Sol es de 6.200º.

Todos los puntos del disco solar no emiten la misma cantidad de calor, y el P. Secchi ha podido determinar, empleando la pila termoeléctrica, la temperatura relativa de diferentes partes del Sol; estas observaciones son algo antiguas,

pues las primeras que ejecutó el sabio jesuíta se remontan al año 1844. La pantalla del aparato de proyección, descrito anteriormente, lleva un agujero en el centro, que permite que los rayos solares hieran la pila termoeléctrica, cuyo galvanómetro (fig. 44) se encuentra sólidamente sujeto á uno de los muros del observatorio. El domo se transforma en una cámara oscura, por medio de cortinas, y así el suelo como las paredes del aposento se cubren de paños negros, para evitar que las radiaciones de los objetos cercanos puedan perturbar los datos suministrados por el instrumento. El aparato está provisto de una regla graduada, que se coloca en un diafragma situado detrás de la pila; sus graduaciones corresponden á partes del diámetro solar, de suerte que siempre puede saberse la posición del punto observado y si está distante ó próximo á los bordes. De los varios estudios hechos por el P. Secchi, se deduce que son grandes las diferencias que existen entre las radiaciones caloríficas del centro y las de los bordes solares.

En un experimento efectuado el 19 de marzo de 1852, marcó el galvanómetro 31° al caer sobre la pila los rayos que partían del centro del disco, y 21° cuando la porción examinada estaba casi en el limbo; después, con objeto de obtener resultados más exactos y que fuesen más fácilmente comparables entre sí, adaptó el P. Secchi á la pila un diafragma, cuya superficie equivalía á un cuadrado que tuviese de lado un arco de un minuto. Representando por 100 la radiación del centro, obtuvo la tabla siguiente:

Distancia de la pila al centro del Sol	Números que expresan las radiaciones de cada punto
+ 14',90	57,39
+ 11',31	88,81
+ 1',77	99,48
- 10',90	81,32
- 14',88	54,34

El signo + indica la parte superior del disco, y el — la inferior.

En otros experimentos llevados á cabo con un antejo mucho más poderoso, se encontró una disminución aún más sensible, pues á la distancia de un minuto del borde, la intensidad era tan sólo como 0,52 de la del centro, esto es, la mitad. Mientras más hacia los bordes se dirige el aparato, mayores son las dificultades que se encuentran para conservar dentro del agujero del diafragma la misma parte ó región del disco solar que se viene examinando.

No sólo disminuye la temperatura en el disco del Sol del centro á la circunferencia; también se ha observado que el calor se halla repartido en ambos hemisferios de un modo desigual; para saber si esta diferencia pudiera ocasionarla la atmósfera terrestre, hizo el P. Secchi un estudio comparativo de dos puntos, situados sistemáticamente á uno y otro lado del ecuador solar, observando alternativamente el superior y el inferior, hasta que el último llegó á ocupar la

misma altura que el anterior; como el influjo de la atmósfera era igual en ambos casos, debía desaparecer en las diferencias, lo que no tuvo lugar; luego no se debe á una causa atmosférica la desigual temperatura de los dos hemisferios.

El profesor Langley, ya citado, ha construído un aparato que permite evaluar en grados y fracciones la intensidad de la radiación de la fotosfera y de las diversas partes de las manchas.

El aparato se compone de una ecuatorial con un antejo de 13 pulgadas de abertura, movido por un mecanismo de relojería de gran potencia y precisión; los rayos caloríficos caen sobre una de las caras de una pila termoeléctrica, colocada precisamente en el eje óptico del antejo, y rodeada de agua, que se sostiene á una temperatura constante; la pila está formada de elementos muy pequeños, y va unida á un galvanómetro de reflexión, muy sensible. Las operaciones se efectúan del modo siguiente:

Primero se coloca la pila en la imagen de la fotosfera, entre la mancha y el centro del disco; después se expone á las radiaciones de la sombra, y por último entre la mancha y el borde del disco. En cada una de estas tres posiciones permanece la pila un intervalo de tiempo igual, y se nota cada vez la desviación galvanométrica producida. La medida de las dos indicaciones fotosféricas, corregidas de los errores instrumentales, sirve de divisor de la lectura correspondiente á la sombra de la mancha. El cociente obtenido expresa, pues, el valor de las variaciones de la sombra, en partes de la radiación de las porciones inmediatas de la fotosfera, que se toma por unidad.

El famoso ingeniero sueco Ericsson contradice algunas de las deducciones del P. Secchi, por suponerlas obtenidas con medios defectuosos, tales como el uso del diafragma agujereado y la termopila, y prefiere el método directo; en la construcción de los aparatos necesarios para sus investigaciones ha tropezado con graves obstáculos, debidos principalmente á las dimensiones colosales de la mayor parte de sus piezas. Imaginemos un tubo de 17 metros de longitud, semejante al de un telescopio, de un metro de diámetro, sin objetivo ni ocular, montado ecuatorialmente, á cuyos extremos puedan adaptarse unas tapaderas ó diafragmas metálicos, perpendiculares al eje del tubo; el diafragma superior está perforado con dos agujeros circulares de 20 centímetros de diámetro, colocados en la prolongación de una línea vertical y distantes entre sí unos 36 centímetros; otro agujero circular de una superficie igual á $\frac{1}{5}$ del área aparente del disco solar, esto es, de 72 milímetros, se abre á cualquiera de los lados de la línea vertical; el diafragma inferior lleva tres aberturas pequeñas, de 6 milímetros de diámetro, cuyos centros corresponden exactamente á los tres agujeros del diafragma superior.

En este estado, se dirige el tubo hacia el Sol y se colocan tres actinómetros, uno debajo de cada una de las aberturas del diafragma inferior; los dos actinómetros que corresponden á los agujeros mayores, marcan, después de un tiempo de exposición suficiente, una temperatura máxima, por ejemplo, 35° centígrados, mientras que el actinómetro que corresponde al agujero cuya área es $\frac{1}{5}$ del tamaño aparente del disco solar, indicará $\frac{35}{5} = 7$ ° centígrados, á menos que la parte central del disco solar irradie más poderosamente hacia la Tierra que el resto, en cuyo caso, la temperatura marcada será superior á 7° centígrados en

el actinómetro á que hemos hecho referencia. Fácilmente se comprenderá que los rayos solares que entran por los agujeros del diafragma superior, convergen en el extremo inferior y pasan por los pequeños agujeros, elevando la temperatura de los actinómetros; supongamos ahora que una placa circular, cuya superficie mida con toda exactitud $\frac{1}{3}$ del área aparente del Sol, es decir, 145 milímetros de diámetro, se coloque concéntricamente en cualquiera de los agujeros del diafragma que cierra la parte superior del tubo telescópico. Siendo el diámetro aparente del Sol de unos 162 milímetros, claro es que la placa sólo dejará pasar á su alrededor los rayos que provengan de una zona de $1' 42''$ de ancho, los cuales se reunirán en el vértice de un cono, cuya base será el agujero del diafragma.

Los demás actinómetros se disponen de un modo análogo, y todo el instrumento puede dirigirse á las regiones del Sol que se quieran examinar, de modo que es dable estudiar simultáneamente dos zonas ó porciones distintas.

No nos es posible referir con toda minuciosidad los experimentos llevados á cabo por Ericsson, y sólo presentaremos los hechos más importantes que ha obtenido de sus observaciones. La intensidad de la radiación solar en las inmediaciones de los bordes ha sido tan sólo 0,638 de la que han emitido las porciones centrales; resultado que difiere grandemente del obtenido por el P. Secchi, quien supone que la absorción detiene los $\frac{2}{3}$ de la fuerza total de irradiación. Basta con este ejemplo para probar que el problema de la temperatura del globo del Sol dista mucho de hallarse resuelto, ni mucho menos, y que hacen falta, para poder formar una opinión acertada, nuevas y múltiples observaciones.

Pocos países se encuentran tan favorablemente situados como el nuestro para estudiar estos problemas, que exigen una atmósfera despejada y una sucesión de días de Sol claro y brillante, condiciones que rara vez se obtienen en las comarcas más septentrionales; y aunque los aparatos y medios de observación sean delicados y medianamente costosos, no creemos que pueda considerarse como imposible el que lleguen á obtenerlos nuestros observatorios y que consigan con su empleo resolver estos interesantes enigmas de la física solar.

Si valiéndonos del aparato de proyección descrito en la página 18 observamos la imagen del Sol formada en la pantalla, percibiremos fácilmente que la luz de los bordes es mucho menos intensa que la que proviene de las regiones centrales. Esta observación se debe á Lucas Valero y fué confirmada por Scheiner, según puede leerse en su famosa *Rosa Ursina*. En tiempos posteriores intentó Bouguer determinar, por medios fotométricos, la relación que existe entre la intensidad luminosa del centro y la de un punto situado á una distancia igual á los $\frac{3}{4}$ del radio; esta relación es igual á $\frac{1}{101720}$. Bouguer se valió para sus observaciones de una lente cóncava, que le permitía dispersar la luz del Sol, con objeto de disminuir su excesivo brillo en una proporción fácil de calcular; debilitada de esta suerte la luz del Sol, no había dificultad en compararla con la de una bujía, colocada á una distancia conocida de la pantalla fotométrica. Advertiremos aquí, de paso, que Bouguer fué el inventor de la fotometría.

El P. Secchi ha empleado en sus estudios el siguiente procedimiento: transformado el domo en una cámara oscura, se adapta al anteojo un ocular poderoso, que dé, por proyección, una imagen débil del Sol, de un metro de diámetro;

con objeto de atenuar más aún el brillo de la imagen, lo cual es de suma importancia para poder apreciar las intensidades relativas, se adapta al objetivo de la ecuatorial un diafragma; la imagen se recibe sobre una pantalla negra, que tiene dos aberturas de un centímetro de diámetro cada una, las cuales permiten que los rayos luminosos de la región examinada se reflejen en otra pantalla blanca colocada detrás de la anterior.

Los rayos que corresponden al centro del disco presentan un color blanco, y su intensidad es casi igual en todos los puntos de esa región únicamente; pues más allá del cuarto del radio, la diferencia es muy acentuada, hasta que al llegar á las inmediaciones de los bordes, no sólo varía la cantidad de luz emitida, sino que su color pasa de blanco á rojo; esta coloración hace en extremo difíciles las medidas fotométricas, y á ella cree el P. Secchi que se debe el tinte que presenta el horizonte, cuando durante los eclipses totales se halla la Tierra iluminada sólo por esta zona exterior.

Muchos y variados han sido los experimentos hechos por el sabio Director del Observatorio de Roma, y de ellos se deduce que, en dos puntos situados á 1 y á 5 minutos del borde respectivamente, la relación de las intensidades es como de 1 á 3; en el segundo de estos puntos, la intensidad luminosa viene á ser como los $\frac{2}{3}$ de la del centro, de suerte que la relación entre el punto más distante y el centro sería

$$\frac{1}{3} \times \frac{2}{3} = \frac{2}{9} = \frac{1}{4,5} = 0,22$$

El color rojo de los bordes hace muy difícil la evaluación de la intensidad luminosa de esta región, pero desde luego puede asegurarse que es mucho menor que la de las zonas inmediatas.

La debilitación de los rayos luminosos en los bordes viene á demostrar la existencia de una atmósfera solar absorbente, cuya constitución se ignora; puede ser muy densa ó espesa y de poca altura, y puede también, como la nuestra, ser elevada y difusa.

Terminaremos este asunto presentando algunas comparaciones familiares, entre la intensidad luminosa y calorífica del Sol, y las fuentes de calor y de luz de que podemos disponer en nuestros laboratorios.

La cantidad total de calor emitida por el Sol es suficiente para hacer hervir en una hora una masa de agua de 29.000.000.000 de kilómetros cúbicos de agua, según Tyndall. O de otro modo: para hacer hervir esta cantidad de agua haría falta una montaña de carbón de piedra de 27 kilómetros de espesor. Otro ejemplo que copiamos de Herschel: figurémonos una columna cilíndrica de hielo de 18 leguas de diámetro, que sin cesar se dirija hacia el Sol, y que toda el agua derretida desaparezca inmediatamente; para que todo el calor solar se invirtiese en la fusión del hielo, sin que se produjera ninguna radiación exterior, sería preciso lanzar el cilindro congelado con la velocidad de la luz. El calor del Sol podría, sin disminuir de intensidad, fundir en un segundo de tiempo una columna de hielo de 4.120 kilómetros cuadrados de base y de 310.000 kilómetros de altura. Para derretir esta columna de hielo, con los medios que poseemos en la

Tierra, sería necesario que nuestro planeta tuviese un volumen 1.300.000 veces mayor que el suyo, y que una capa de hulla inflamada de 7 leguas de espesor lo rodease constantemente.

Bouguer calculó que, al hallarse el Sol á 31° sobre el horizonte, con un cielo claro y despejado, la intensidad de su luz puede compararse á la de 62.177 bujías colocadas á la distancia de un metro; teniendo en cuenta la absorción producida por la atmósfera y el decrecimiento de la luz en razón inversa del cuadrado de la distancia, el poder luminoso del Sol en el cenit es 75.200 veces superior al de una bujía colocada á un metro de distancia del objeto iluminado. Estos experimentos de Bouguer fueron confirmados por Wollaston, recibiendo un haz de luz solar en una cámara oscura; según este físico, la luz del Sol en el cenit equivale á 68.000 bujías situadas á la distancia de un metro, número inferior al encontrado por el astrónomo francés.

Hoy día podemos producir en nuestros laboratorios luces artificiales cuyo poder se asemeja mucho al de la luz del Sol; tales son las de Drummond, de magnesio y la eléctrica. La luz de Drummond ú oxhídrica (figura 45) se obtiene inflamando una corriente de hidrógeno y oxígeno, é introduciendo en ella un pedazo de cal ó de zirconio; su intensidad es comparable á la de 160 ó 180 bujías.

La de magnesio consiste simplemente en inflamar un alambre de este metal, de una sección, por ejemplo, de $\frac{1}{8}$ de milímetro de diámetro; su poder luminoso, cuando arde en el aire atmosférico, es igual á 74 bujías, pero sube á 110 si se le quema en una atmósfera de oxígeno (fig. 46).

La luz más brillante que los hombres han podido producir es la eléctrica, y la única que no produce sombra proyectada sobre el disco solar; cuando se coloca la llama de una bujía al Sol y se recibe su imagen sobre una pantalla, se observa que da una sombra bastante oscura, y si se dispone la llama de tal suerte que se la vea al mismo tiempo que la parte de cielo cercana al Sol, llega á desaparecer, y sólo se distingue el pábilo como una mancha negra.

Arago dice que la potencia luminosa del arco voltaico es equivalente á 3.400 bujías, ó sea la cuarta ó quinta parte de la del Sol; su intensidad depende, sin embargo, de la energía de la dinamo empleada.

En todos estos ejemplos sólo nos hemos referido al brillo del Sol en la superficie de la Tierra, y no á su intensidad absoluta. Arago comparó el resplandor del cielo en las proximidades del Sol, á la intensidad luminosa del disco; y á una distancia angular de 32 minutos, era el brillo de la atmósfera 511 veces menos intenso que la luz solar. Bouguer ha demostrado que, para que una luz eclipse á

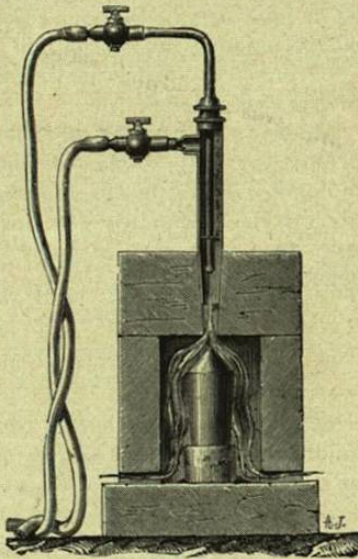


Fig. 45. - Soplete oxhídrico

otra, ha de ser 64 veces superior á ella; y, como hemos visto, la luz de una bujía es invisible en la proximidad del disco solar; luego esa región tiene un brillo intrínseco igual á 64 veces el de la llama de una bujía, de modo que la intensidad de la luz solar viene á ser $511 \times 64 = 31.704$ veces superior á la luz de una bujía; según Bouguer, este número es muy bajo, y debe ser substituído por 186.400, y según Wollaston, por 179.130.

Del examen de los hechos que hemos presentado, podemos deducir con gran fundamento que todas las radiaciones experimentan una absorción considerable, que aumenta desde el centro del disco hasta los bordes, lo que hace suponer que el Sol está rodeado de una atmósfera. La región comprendida entre los 30° de latitud á cada lado del Ecuador, tiene una temperatura más elevada, lo menos $\frac{1}{10}$, que el resto del globo solar; el hemisferio del Sur es algo más frío que el boreal, y por último, las manchas emiten menos calor y menos luz que las otras partes del disco.

El lector reflexivo no habrá dejado de observar que, en el estudio del astro central de nuestro sistema, hemos encontrado hechos y detalles al parecer insignificantes, que, profundizados, han llegado á ser fenómenos trascendentales y de gran importancia. Al principio, la observación de las manchas solares casi no fué más que motivo de curiosidad, y por su medio, sin embargo, se descubrió la rotación del Sol; á este extremo quedó reducido por muchos años nuestro conocimiento sobre el globo solar, y la diligencia de que han dado pruebas los astrónomos modernos, ha hecho que se estudien del modo más escrupuloso los menores detalles del astro á quien debemos nuestra vida y la de nuestro propio planeta.

Al fin se ha reconocido que, sólo con una observación constante, pueden descubrirse infinitos secretos de la constitución solar, íntimamente relacionados con ciertas maravillosas manifestaciones que tienen lugar en la superficie de la Tierra.

Al mismo tiempo que Schwabe y Wolf se dedicaban con incansable ardor al estudio de la superficie solar, registrando en sus cuadernos los menores accidentes de la fotosfera, Sabine, en Inglaterra, con igual constancia, se ocupaba en investigar los fenómenos magnéticos que se presentaban en la superficie de nuestro globo.

Una aguja imanada, suspendida libremente, se dirige, de un modo constante al parecer, hacia los polos del globo terrestre; esto es cierto, si no se atiende más que á las fluctuaciones de gran amplitud; sin embargo, dentro de ciertos límites, la aguja se halla en perpetua oscilación, correspondiendo sus desviaciones á determinadas horas del día; además de estos movimientos periódicos, se observan asimismo unas fluctuaciones bruscas é irregulares. Diariamente, pues, la aguja

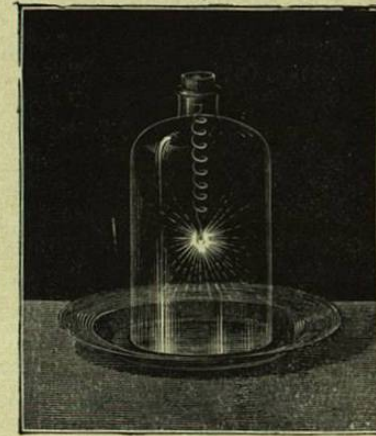


Fig. 46. - Luz de magnesio ardiendo en el oxígeno