

pejitos esféricos ó parabólicos, de latón bruñido y plateado, cuyo eje común es vertical. En el foco del espejo inferior se fija la bola de un pequeño termómetro, y en el del superior un alambre de platino muy fino enrollado en espiral. Los extremos del hilo están soldados á los reóforos de una pila, y empalmados á los tubos laterales de la campana que forma el recipiente. Hecho el vacío en éste, se cierra el circuito, y al pasar la corriente de la pila por la espiral de platino, la pone incandescente. Al punto marca el termómetro un aumento muy sensible de temperatura, que sólo puede atribuirse á la reflexión del calor desarrollado. Y en efecto, si se repite el experimento después de desviar la bola del termómetro, la elevación de temperatura marcada por éste es mucho más débil, cuando no enteramente nula.

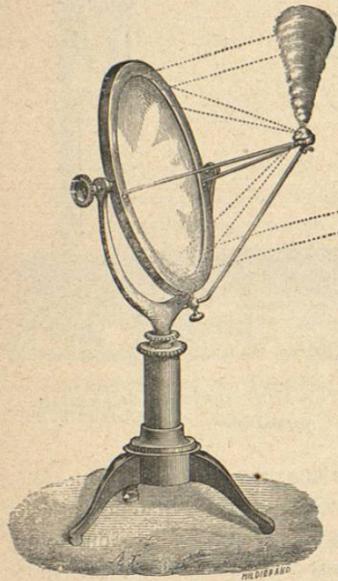


Fig. 624.—Espejo ustorio

hecho con el trozo de hielo, el termómetro es el que pierde más calor del que recibe, y por lo tanto su temperatura disminuye y el nivel termométrico baja.

Se han utilizado las leyes de la reflexión del calor para obtener uno de gran intensidad en el foco de un espejo esférico cóncavo expuesto á los rayos solares. Con un aparato de esta clase, llamado *espejo ardiente ó ustorio*, y al cual se da mucha abertura y un radio de curvatura considerable, se han fundido metales, vitrificado ladrillo, piedra, etc. Volveremos á ocuparnos más detalladamente de este asunto, cuando tratemos de las aplicaciones industriales del calor solar y de los aparatos inventados recientemente con objeto de utilizarlo.

IV

PODER EMISIVO DE LOS CUERPOS: PODER ABSORBENTE, PODER REFLECTOR

Para los rayos de calor, lo propio que para los de luz, hay dos clases de reflexiones experimentadas por un haz al caer, con una incidencia cualquiera, sobre la superficie de un cuerpo; la reflexión *regular* corresponde á la parte del haz que retrocede con arreglo á las leyes enunciadas en el artículo precedente, dándose el nombre de

calor difuso á la porción que retrocede con irregularidad en todos sentidos, y comprendiéndose con el de *difusión* el fenómeno de esta reflexión irregular. Con respecto á la parte que queda del calor recibido por el cuerpo, penetra en su interior ó es *absorbida*, si se trata de una substancia *atermana*; y puede ser en parte absorbida y en parte *transmitida*, si la substancia es, por el contrario, *diatermana*.

Las proporciones de estas diferentes cantidades de calor varían de un cuerpo á otro con arreglo á ciertas condiciones que no tan sólo dependen de su naturaleza y del estado de su superficie, sino también, según veremos, del calor mismo que recibe, tanto en razón de su temperatura como de la *calidad de sus rayos*, expresión que en breve tendremos ocasión de explicar y definir. Representando por la unidad ó por el número 100 (se escoge cualquiera de ambos) la cantidad total de calor radiante recibida por un cuerpo, se llega á determinar experimentalmente cada una de las partes en que se descompone el haz recibido, y cada uno de los números que resultan representa un *poder propio* del cuerpo. De este modo se tiene: 1.º, el *poder reflector* correspondiente á la porción de calor reflejada con regularidad; 2.º, el *poder difuso*, para el calor difuso; 3.º, el *poder absorbente*, para el que, penetrando en el cuerpo, eleva su temperatura; 4.º y último, el *poder diatermano*, que comprende el calor que lo atraviesa sin calentarlo.

En la definición que acabamos de dar se trata de los poderes *absolutos* propios de cada substancia; siendo obvio que si fuese posible medir cada uno de ellos con rigurosa exactitud, la suma de los cuatro números así obtenidos en las mismas condiciones experimentales sería precisamente igual á 1 ó á 100. Pero también se puede considerar cada uno de estos poderes como relacionándolo con el de un cuerpo especialmente escogido, y entonces las cifras que se obtienen indican los poderes *relativos*. Cuidaremos de distinguir estas dos clases de determinaciones.

Se ha de considerar por último la mayor ó menor facultad que tienen los cuerpos de irradiar ó emitir calor cuando su temperatura excede á la de los cuerpos que los rodean ó á la del recinto en que se hallan. Mas para comparar por este concepto los diferentes cuerpos y averiguar lo que se ha convenido en llamar sus *poderes emisivos* es necesario hacer los experimentos á una misma temperatura y que la emisión del calor se efectúe en iguales condiciones de inclinación; es preciso, en fin, que la naturaleza ó la calidad del calor radiante sea idéntica. Se toma generalmente por unidad el poder emisivo del negro de humo, único cuerpo cuyos poderes reflector y emisivo puedan considerarse nulos.

Sentadas estas definiciones, veamos cómo se ha procedido á averiguar y determinar experimentalmente estos poderes. Empecemos por el emisivo.

Rumford y Leslie hicieron las primeras investigaciones acerca de este punto, las cuales datan de principios del siglo actual. Llenando de agua caliente una vasija metálica colgada en un recinto de temperatura constante, Rumford observaba con un termómetro metido en la vasija el enfriamiento experimentado por el líquido en un minuto. Volvía á empezar el experimento cambiando la superficie de la vasija, pero partiendo siempre del mismo exceso de temperatura del agua sobre la ambiente. De este modo vió que el enfriamiento es más rápido cuando la superficie está ennegrecida, más lento si ésta es metálica, y por regla general, que esta rapidez variaba con la naturaleza ó estado de la superficie, deduciendo de aquí que el poder emisivo cambia con este estado; pero las cifras halladas por Rumford no podían servir para medir el poder emisivo, porque el enfriamiento de la vasija no dimanaba solamente de la radiación, sino también del contacto de las capas de aire que la rodeaban.

Leslie hizo por la misma época otros experimentos más concluyentes, merced á un método en el que sólo influía la radiación. Como foco de calor de temperatura constante usaba una vasija metálica de forma cúbica llena de agua hirviendo, en cuyo estado procuraba mantenerla. Las caras del cubo estaban formadas ó forradas de las varias substancias cuyo poder emisor se quería poner á prueba, como placas de plata, cobre ó estaño bruñido, capas de negro de humo, blanco de cerusa, etc. A distancia invariable del cubo ponía una de las bolas de su termómetro diferencial, resguardando la otra de la radiación con una pantalla, y dirigía sucesivamente la radiación directa de cada cara del cubo sobre la bola del termómetro. Entonces anotaba los excesos de temperatura marcados por este instrumento tan luego como se detenía, y admitiendo que estos excesos sean proporcionales á las intensidades del calor recibido por la bola,

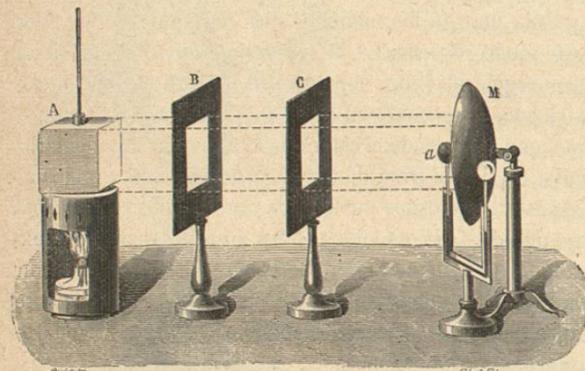


Fig. 625.—Medida de los poderes emisivos. Experimentos de Leslie

ó del haz irradiado de cada cara del cubo, deducía de aquí los poderes emisivos relativos á los cuerpos que formaban dicha cara. Para obtener efectos más marcados, colocaba Leslie detrás de la bola del termómetro diferencial un espejo esférico de latón bruñido, cuyo eje principal era perpendicular á la cara del cubo; teniendo además la bola y la cara en cuestión sus centros en dos focos conjugados del espejo. En la figura 625 se ven dos pantallas con unas aberturas cuadradas que limitan el haz radiante, lo que en rigor no es indispensable; y en efecto, en cada experimento el calor radiado directamente ó por reflexión sobre el espejo forma siempre un haz cónico de abertura constante, igual para todas las caras, puesto que la distancia es invariable.

Leslie se convenció de que, en igualdad de circunstancias, el negro de humo es el cuerpo de mayor poder emisor. A éste seguían el agua, el papel de escribir, el lacre, el vidrio, la tinta de China, y en último lugar los metales, hierro, estaño, plata, cobre y oro.

Melloni se valió de la pila termoeléctrica para determinar los poderes emisivos (1),

(1) He aquí las cantidades deducidas por Leslie, y luego por Melloni, para varias substancias:

SEGÚN LESLIE			
Negro de humo.	100	Minio.	80
Agua.	100	Plombagina.	75
Papel de escribir.	98	Plomo mate.	45
Lacre.	93	Mercurio.	20
Vidrio.	90	Plomo brillante.	19
Tinta china.	88	Hierro bruñido.	15
Hielo.	85	Estaño, plata, cobre, etc.	12
SEGÚN MELLONI			
Negro de humo.	100	Tinta china.	85
Blanco de cerusa.	100	Goma laca.	72
Cola de pescado.	91	Metales.	12

pero la Provostaye y Desains han hecho los estudios más detenidos acerca de este asunto. Propusieron averiguar cómo varía la ley de emisión con la temperatura, midieron el poder emisor á 100° y á temperaturas mayores hasta 400°, y por último estudiaron la influencia de la superficie emitente en la naturaleza del calor emitido, así como la de la dirección de la emisión en su intensidad. Vamos á resumir sucintamente los resultados obtenidos (fig. 626).

„La determinación de los poderes emisivos á 100°, dice Desains, ha cambiado completamente las ideas formadas sobre su extensión y alcance, al menos por lo que atañe á los metales. Ha demostrado que hacia los 100° el poder emisor de la plata en láminas está comprendido entre 0,02 y 0,03; que el del oro es 0,04; el del platino 0,09 ó 0,10, según los ejemplares; el de la plata mate, 0,05. Se ha averiguado también que el del ocre rojo es igual al del negro de humo, y el del azufre lavado de unos 0,73.

„Casi siempre se había estudiado la emisión á temperaturas próximas á 100°, tan sólo Dulong y Petit habían procurado llevar hasta los 300° la comparación de los poderes emisivos del vidrio y de la plata, y creyeron poder deducir de los experimentos hechos entre estos límites que las relaciones entre los poderes emisivos de

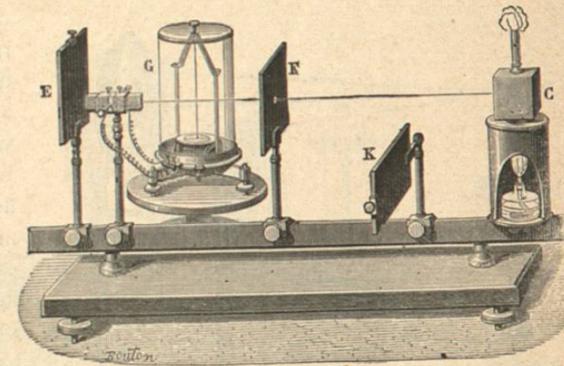


Fig. 626.—Medida de los poderes emisivos con el aparato de Melloni

los cuerpos son constantes á cualquier temperatura. Los experimentos de la Provostaye y Desains han probado que no existe semejante circunstancia. Para comparar á 400° los poderes emisivos de los dos cuerpos citados, tomaron como manantial de calor una cuba de hierro, una de cuyas paredes era plana y lisa. En una de las mitades de esta cara pusieron negro de humo y en la otra la substancia sujeta al experimento. La cuba estaba llena de aleación constantemente removida, y desviando la pila paralelamente á sí misma, podía hacerse radiar hacia ella ya la una ó ya la otra de las dos substancias cuyos poderes emisivos querían compararse.

„Elevando el calor al rojo, se tomaba por cuerpo radiante una placa de platino dada en sus dos mitades de diferentes substancias y hecha incandescente por una corriente eléctrica constante.

„Operando así, se ha visto que, al rojo, el poder emisor del borato de plomo equivale solamente á los 0,75 del óxido de cobre. Después se ha reconocido que á esta temperatura el poder emisor del óxido de cinc sólo representa los 0,60 del del ocre; y sin embargo, á 100° estos cuatro cuerpos emiten calor en proporciones iguales. Respecto del platino, la variación ocurre en sentido inverso: al rojo naciente, su poder emisor es de 0,14, al paso que á 100° es de 0,10.

Estos mismos físicos han visto que el calor emitido por el platino al rojo naciente atraviesa una lámina tenue de vidrio en la proporción de 0,39; y que el que emite el borato de plomo en las mismas condiciones atraviesa la misma lámina en la proporción de 0,22 solamente; de donde se debe deducir que la naturaleza de la superficie radian-

te influye en la calidad del calor emitido. Por último, han reconocido que la proporción de los poderes emisivos cambia por lo común con la dirección de la radiación, y que el del vidrio, por ejemplo, es 0,9 del del negro de humo en dirección perpendicular, al paso que baja á 0,75 con una inclinación de 70 grados.

V

REFLEXIÓN DEL CALOR. — PODERES REFLECTOR Y DIFUSO DE LOS CUERPOS

También ha hecho Leslie experimentos sobre el poder reflector de los cuerpos, habiendo determinado, no el absoluto, sino la relación que media entre éste y el del latón bruñido tomado por unidad. Para ello concentraba en uno de los focos conjugados del reflector esférico N (figura 627) los rayos de calor emitidos por un cubo lleno de agua hirviendo M, una de cuyas caras la ocupa el otro foco.

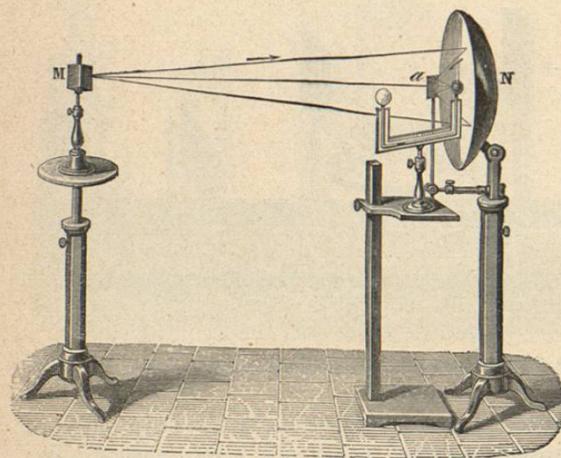


Fig. 627.—Medida de los poderes reflectores por el método de Leslie

Entre el primer foco y el reflector ponía una placa *a* del metal cuyo poder se proponía estudiar. El haz calorífico, reflejado primeramente por la superficie esférica cóncava, pasaba de ésta á la placa, y de aquí á una de las bolas del termómetro diferencial. Leslie tomaba nota de la elevación de temperatura marcada por el instrumento, cuando el nivel del líquido se detenía en su movimiento ascendente. Luego repetía el experimento, cambiando cada vez la naturaleza de la placa reflejante. Siendo las indicaciones del termómetro proporcionales á las cantidades de calor recibidas por la bola, y por consiguiente á las que habían sido reflejadas por las diferentes substancias, su relación era igual á la de sus poderes reflectores. He aquí las cantidades deducidas por Leslie:

Latón.	100	Plomo.	60
Plata.	90	Estaño amalgamado.	50
Estaño en hojas.	85	Vidrio.	10
Estaño aplanado.	80	Vidrio dado de aceite.	5
Acero.	70	Negro de humo.	0

La comparación de estos números con los que dan los poderes emisivos de los mismos cuerpos demuestra que el orden en que están clasificados aquí es precisamente inverso del que presentaban en el primer cuadro; así pues, los poderes emisivos están en razón inversa de los reflectores. Más adelante veremos que esta ley es la consecuencia natural de la igualdad del poder emisor y del absorbente, por lo menos en los cuerpos atermos.

Con la pila termoeléctrica de Melloni se pueden medir los poderes reflectores absolutos. He aquí la disposición que con tal objeto han adoptado la Provostaye y Desains.

Las diferentes piezas usadas por Melloni para sus investigaciones sobre el calor radiante están montadas sobre unos soportes de corredera, y éstos á su vez sobre una regla horizontal de cobre, sólida, bien recta y con una división merced á la cual se miden las distancias. En A (fig. 628) está el pie que lleva el foco de calor, que en la figura es una lámpara de Locatelli (1); y luego hay dos pantallas B y C, una de ellas con una abertura para dar paso al haz calorífico. El soporte D tiene un círculo dividido en grados, y en él se sujeta perpendicularmente la placa reflectora, cuyo plano pasa por el centro del círculo. El pie de este soporte lleva una alidada HH', movable alrededor de la vertical del centro del círculo graduado, y á esta alidada se fija la pila, cuyas caras están resguardadas por una pantalla de la radiación directa.

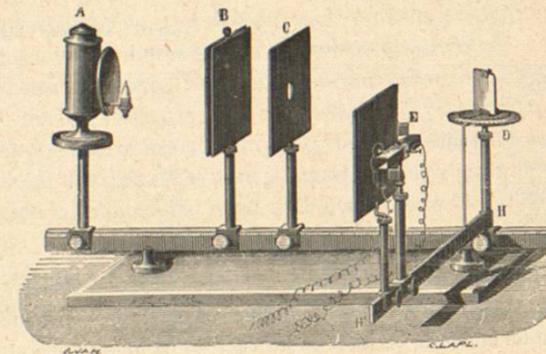


Fig. 628.—Medida de los poderes reflectores con el aparato de Melloni. Experimentos de la Provostaye y Desains

Para medir el poder reflector de una substancia dada se empieza por poner la alidada y la pila en la prolongación de la regla. Entonces se dirige el haz calorífico sobre la pila y se anota la desviación de la aguja del galvanómetro, desviación que servirá para medir la intensidad total del haz calorífico directo, á una distancia igual á la suma de las distancias de las dos reglas. Colócase entonces en el soporte D la placa ó el espejo de la substancia cuyo poder reflector se quiere medir, poniéndola de modo que forme un ángulo dado con el rayo incidente. Hecho esto, se da vuelta á la alidada movable hasta que su dirección forme con la de la regla fija el mismo ángulo que ésta con la placa. Bájase la pantalla B; el haz de calor cae sobre el espejo, se refleja en él, y después de esta reflexión va á dar en la cara de la pila, produciendo una desviación que, comparada con la primera, marca la fracción de calor reflejado.

Haciendo variar la incidencia y luego la naturaleza del foco, la Provostaye y Desains han podido reconocer la influencia que resulta de estas variaciones con respecto á la cantidad de calor reflejada por una misma substancia. He aquí algunos de los resultados obtenidos por dichos físicos:

(1) Es una lámpara compuesta de un depósito en que el aceite está siempre á nivel constante, y su mechero rectangular tiene una mecha de igual forma; la constancia de su llama y la carencia de una chimenea de vidrio la han hecho escoger con preferencia para manantial de calor luminoso. Está provista de un reflector parabólico.

De 100 rayos emanados de una lámpara de Locatelli, y que dieron, con una incidencia de 50°, sobre espejos formados de láminas bruñidas de metales comunes, la proporción de los rayos reflejados ha sido la siguiente:

METALES	Poderes reflectores absolutos	METALES	Poderes reflectores absolutos
Plata..	97	Estaño.	85
Oro.	96	Acero..	83
Cobre.	93	Cinc.	81
Latón.	93	Platino bruñido.. . . .	80
Metal de los espejos.	86	Hierro.	77

El cuadro siguiente hace patente la influencia del foco:

Substancias de los espejos	Lámpara de Locatelli	Calor solar natural	Lámpara de alcohol salado
Plata.	97	92	"
Oro.	96	87	"
Metal de los espejos.	86	64	"
Acero..	83	60	88
Platino.	80	60	86
Latón..	93	"	95

Vese que, para una misma substancia, el poder reflector disminuye cuando crece la temperatura del foco de calor, ó cuando disminuye en el foco el número de los rayos caloríficos que abundan en la emisión de los cuerpos de baja temperatura. Es decir, en términos más generales, que la intensidad de la reflexión disminuye á medida que aumenta el grado de refrangibilidad. Así lo han reconocido los sabios operadores valiéndose de los rayos solares simplificados por su dispersión á través de los prismas de vidrio; y haciendo extensivas las mismas medidas á los rayos oscuros más refrangibles que el rojo, vieron en todos los metales ensayados que dichos rayos oscuros se reflejan en proporción mucho mayor que el calor luminoso. El poder reflector del acero, que es 60 solamente para el calor solar natural, llega á 75 por 100 cuando este metal refleja el calor que procede de una banda del espectro obscuro, simétrica del azul con relación al rojo extremo. Esta influencia de la naturaleza de los rayos en la intensidad de la reflexión es más marcada todavía respecto del vidrio y substancias á él análogas. El vidrio no refleja más que el cuatro por ciento de los rayos solares á la incidencia normal: la proporción llega al 10 respecto del calor emanado de placas ennegrecidas elevadas á 300° de temperatura.

La influencia de la inclinación en la intensidad de la reflexión del calor es cosa no menos bien averiguada. Según Desains, el calor emanado de focos á 150° y 200° le ha dado las cifras siguientes, por lo que respecta al poder reflector del cristal:

Incidencias.	30°	45°	70°	75°
Poder reflector.	10	11	25	32

En todos los experimentos que dejamos enumerados, sólo se trata de la reflexión regular, de la que se efectúa en la superficie de cuerpos bruñidos con arreglo á la ley de la igualdad de los ángulos de incidencia y reflexión. Pero las superficies mates ca-

recen de poder reflector regular apreciable. Unas, como el negro de humo (1), absorben casi todo el calor que va á parar á ellas: otras sólo absorben una parte y difunden el resto, esto es, diseminan los rayos de calor no absorbidos alrededor del punto de incidencia. La cantidad de calor difundida varía según la naturaleza del calor radiante emitido, hecho comprobado por J. Herschel, y después por Melloni. Posteriormente Knoblauch estudió la difusión de un haz calorífico complejo. "La Provostaye y Desains estudiaron á su vez el asunto desde otro punto de vista, procurando definir las leyes del calor difuso y medir la intensidad total de la difusión. Entre los resultados que obtuvieron, haremos mención de los siguientes:

„1.º Cuando el calor encuentra en una dirección normal cuerpos enteramente mates, como la cerusa, el cromato de plomo, se difunde con arreglo á una ley que se puede enunciar como sigue: Si se cortan elementos iguales en una esfera que tenga su centro en una mancha luminosa formada por los rayos incidentes, cada uno de dichos elementos recibe cantidades de calor difuso respectivamente proporcionales á los cose-nos del ángulo que forma con la normal el eje del haz que lo cubre. Una suma da entonces la cantidad total enviada por difusión, y por consiguiente, la absorbida. Operando con el calor solar natural, resulta que en la cerusa hay 82 rayos difusos sobre 100, y por lo tanto 18 rayos absorbidos; en el cromato, 66 rayos difusos y 34 absorbidos.

„2.º Hasta llegar á inclinaciones muy pronunciadas, se encuentra el máximum de difusión en la dirección de la normal, y no en lo que se suele llamar dirección de la reflexión regular.

„3.º Para el platino y la plata en polvo, las leyes de la difusión son muy distintas de las de la cerusa.,,

VI

PODER ABSORBENTE DE LOS CUERPOS. — IGUALDAD DEL PODER ABSORBENTE Y DEL EMISIVO

Para averiguar el poder absorbente, Melloni hacía uso de su aparato, disponiéndolo del modo siguiente (fig. 629): delante y á corta distancia de la pila termoeléctrica ponía un disco de cobre muy delgado, con la superficie cubierta de la substancia que quería estudiar y la cara posterior dada de negro de humo. El haz calorífico radiante caía sobre el disco, y el calor absorbido se escapaba por el otro lado radiando hacia la pila, cuyas indicaciones mostraban los poderes absorbentes relativos de las substancias sometidas á la prueba.

Leslie había hecho experimentos con el mismo objeto, valiéndose del reflector del aparato representado en la figura 627. Colocado el cubo de agua hirviendo á corta distancia del reflector, ponía en el foco conjugado una de las bolas de su termómetro diferencial, cubriéndola sucesivamente con las substancias cuyos poderes absorbentes relativos trataba de averiguar, como negro de humo, blanco de cerusa, hojas de oro, de plata, de cobre, etc. Leslie suponía que los excesos de temperatura marcados por su

(1) Scheele hizo las primeras observaciones sobre la desigualdad del poder reflector según el estado de las superficies. "Habiendo puesto un espejo cóncavo metálico y bruñido enfrente de la abertura de una estufa en la cual ardía un activo fuego de leña, dicho químico observó que el espejo reflejaba todo el calor que llegaba á su superficie, puesto que no se notaba que se hubiera calentado. Si se daba su superficie de negro de humo, el espejo se calentaba hasta el punto de no poderse poner impunemente la mano en la parte convexa.,, (Despretz.)