



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

“EL DESARROLLO DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR
Y LOS CIENTIFICOS QUE LE DIERON IMPULSO”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

I N G E N I E R O Q U I M I C O

P R E S E N T A :

O S C A R L O P E Z C A R R E Ñ O

MEXICO, D.F.



EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUIMICA

2004



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente Antonio Valiente Barderas

Vocal Juan Mario Morales Cabrera

Secretario Ricardo Pérez Camacho

1er sup. . Mariano Pérez Camacho

2do sup. . Blanca Estela García Rojas

Sitio donde se desarrolló el tema:

Facultad de Química, Ciudad Universitaria, México, D.F.

Nombre y firma del asesor del tema:

Dr. Antonio Valiente Barderas

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping, fluid strokes, positioned above a horizontal line.

Nombre y firma del sustentante:

Oscar López Carreño

A handwritten signature in black ink, featuring a stylized 'Oscar' followed by a flourish, positioned above a horizontal line.

Doy gracias a Dios por esta oportunidad.

También agradezco a mis padres y hermanas por su apoyo en la realización de este trabajo.

De manera especial agradezco las atenciones y consejos que me ha brindado el asesor de mi tema. Dr. Antonio Valiente Barderas, así como a todos y cada uno de los maestros que contribuyeron en mi preparación profesional.

INTRODUCCION

La *Transferencia de Calor* es de gran importancia en la Ingeniería Química, debido a que en la mayoría de los procesos industriales se utiliza en mayor o menor medida el *calor*, el cual nos permite transformar las materias primas en productos útiles para el consumo humano.

Con el estudio de la materia "*Transferencia de Calor*", después de los conocimientos que los alumnos adquirieron en "*Balances de Materia y Energía*" y "*Termodinámica*", pueden comenzar a adentrarse en el estudio de "*Mecanismos de Transferencia de Calor por Conducción, Convección y Radiación*", para de allí poder pasar al conocimiento, evaluación y diseño de algunos equipos utilizados para la *Transferencia de Calor* como intercambiadores, condensadores, radiadores, hornos, torres de enfriamiento, etc.

Sin embargo, quizás debido a la premura del tiempo para dar un curso de *Transferencia de Calor*, los profesores no tienen la posibilidad de hablar sobre el desarrollo de la misma y mucho menos de dar a conocer a los alumnos, a aquellos hombres que contribuyeron a su desarrollo a lo largo de la historia.

Mediante la realización de la presente obra se pretende dar una visión general del desarrollo de la *Transferencia de Calor*, presentando a los personajes más importantes en orden cronológico y que contribuyeron al desarrollo de ésta, y por tanto al progreso de la humanidad.

INDICE

Introducción

CAPITULO I

Descubrimiento del fuego a edad media

- Descubrimiento del fuego..... 2
- Edad de los Metales..... 4
- Uso de los Metales en México..... 6

Grecia

- Heráclito..... 7
- Empédocles..... 9
- Aristóteles.....10
- Demócrito..... 13
- Filón de Bizancio..... 15
- Herón de Alejandría.....16
- Hypatia.....19

Roma

- Termas romanas.....21

Termas en México.....23

Edad Media

- Ciencia Árabe.....24
- Termas Árabes25
- Ciencia Europea.....26
- Destilación.....26

CAPITULO II

Renacimiento a fines del siglo XVIII

▪ Galileo.....	31
▪ Duque de la Toscana.....	36
▪ Boyle.....	38
▪ Amontons.....	41
▪ Fahrenheit.....	43
▪ Réaumur.....	45
▪ Newton.....	48
• Ley de Enfriamiento de Newton.....	49
▪ Celsius.....	51
▪ Musschenbrock.....	54
▪ Stahl.....	56
▪ Lavoisier.....	58
▪ Newcomen.....	65
▪ Thompson, Rumford.....	67
▪ Black.....	71
▪ Watt.....	75

CAPITULO III

Siglo XIX

▪ Fourier.....	79
• Primera y Segunda Ley de Fourier.....	80
▪ Petit.....	81
▪ Seebeck.....	82
• Efecto Seebeck.....	85
▪ Carnot.....	87
• Ciclo de Carnot.....	88
▪ Dulong.....	90
• Ley de Dulong y Petit.....	91

▪ Peclet.....	92
▪ Número de Peclet.....	92
▪ Biot.....	93
• Número de Biot.....	96
▪ Clapeyron.....	97
▪ Rankine.....	99
• Ciclo de Rankine.....	101
▪ Mayer.....	104
▪ Maxwell.....	107
▪ Kirchhoff.....	108
• Ley de Kirchhoff.....	109
▪ Clausius.....	110
▪ Joule.....	112
▪ Grashof.....	114
• Número de Grashof.....	115
▪ Stefan.....	116
• Ley de Stefan-Boltzmann.....	117
▪ Helmholtz.....	119
▪ Bunsen.....	120
▪ Boltzmann.....	122
▪ Thompson, Kelvin.....	124
• Efecto Thompson.....	126
▪ Reynolds.....	127
• Número de Reynolds.....	128
▪ Graetz.....	129
• Número de Graetz.....	130

CAPITULO IV

Siglo XX

▪ Stanton.....	132
• Número de Stanton.....	133
▪ Prandtl.....	133

• Número de Prandtl.....	134
▪ Jacob.....	135
▪ Colburn.....	136
• Analogía de Colburn.....	137
▪ Nusselt.....	139
• Número de Nusselt.....	140
▪ Schmidt.....	141
• Número de Schmidt.....	142
• Método de Schmidt.....	142
• Conclusiones.....	147
• Bibliografía.....	148

CAPITULO I

*PREHISTORIA A
EDAD MEDIA*

Descubrimiento del fuego

Hace 500,000 años, el hombre habitaba una tierra inhóspita en la cual había manifestaciones naturales como sismos, deslizamientos de tierra, inundaciones, etc. Y en un punto de esa naturaleza misteriosa en que alternan los árboles y las aves, la variedad de plantas, los montes, las fuentes y los ríos, irrumpió de repente el fuego como un fenómeno ajeno a esa realidad, indomable y terrible capaz de devorar bosques enteros y de convertir en cenizas el menor vestigio de vida.

La repetición del fenómeno lo condujo a observarlo con curiosidad a distancia prudente y, en el mundo mágico de entonces, se le vio como una manifestación de un dios o de dios mismo. Después el hombre terminó por dominar su terror y poco a poco, fue familiarizándose con el, aunque el mito seguía dominando su mundo y el temor continuaba dentro de él.

El asombro culminó cuando ocurrió que el hombre se dio cuenta hace 10,000 años, que al frotar dos trozos de piedras de sílex, o dos maderos; la fricción producía una llama. Y este hallazgo fue muy importante para la humanidad, y representó una de las primeras transformaciones químicas del hombre.

El fuego se convirtió así en un nuevo poder para el hombre. El hallazgo se repitió y el efecto era el mismo, hasta que se convirtió en un acto habitual y un recurso al que se acudía con frecuencia.

El fuego aunque mirado todavía como un don divino, estaba ya en manos del hombre que podía encenderlo, mantenerlo en cierta medida y apagarlo a voluntad.

El fuego representó fuente de calor y luz, y medio de protección frente a los depredadores. Y el hombre aprendió que al calentar al fuego ciertos materiales estos se transformaban en otros que exhibían nuevas y atractivas propiedades.

De este modo, fue que el hombre lo utilizó para cocer la carne que comía, endurecer los utensilios de hueso, para iluminación dentro de su cueva, y, para alterar los pigmentos naturales utilizados para pintar las paredes de las cuevas.

Posteriormente el hombre se hizo sedentario y comenzó a fabricar el primer horno, el cual consistía de un agujero hecho en el suelo, donde se encendía el fuego.

Esto condujo también a que el hombre comenzara a trabajar el barro y a producir los primeros objetos cerámicos para diversos usos, así como a producir ladrillos resistentes, ya que calentados al fuego resistían mejor la lluvia.

Esto fue un catalizador importante, ya que junto al descubrimiento del fuego se descubrió la agricultura, lo cual marcó el fin del nomadismo y el inicio de las primeras ciudades.



El hombre utilizando el fuego

La Edad de los Metales

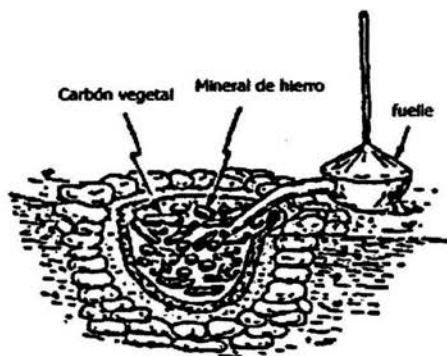
A pesar de que el hombre ya contaba con el fuego, continuó utilizando la piedra para la fabricación de herramientas, pero en la búsqueda de piedras útiles para la fabricación de más herramientas, seguramente el hombre topó con algunos fragmentos de cobre y de oro maleables, y, sucedió que de manera accidental, un trozo de mineral haya caído junto al fuego, con un hecho asombroso como resultado: la conversión de una parte de ese trozo duro se convertía en líquido ardiente que se solidificó y se mostró puro. Y tenía que surgir la repetición de tal experiencia con el mismo resultado, así el hombre entró en otra etapa conocida como *edad de los metales*.

Esta etapa, revolucionó el dominio sobre el entorno conocido por el hombre. Los primeros metales, que se utilizaron hace unos 5,400 años a.c., fueron el cobre y el oro, en la zona del mediterráneo; ya que son de manipulación relativamente fácil, debido a que es posible martillarlos.

Este proceso no requería conocimientos de metalurgia, sin embargo la distribución de los depósitos puros de metales era limitada, por ello el descubrimiento de que mediante el calor podían producirse cambios químicos en los minerales metálicos y podía llegar a separarse el metal puro del mismo significó un avance importante. Posteriormente, se utilizó el estaño con lo cual se obtuvo una aleación junto con el cobre llamado bronce, el cual fue de gran importancia para la historia. Se descubrió el bronce en Asia Occidental entre 4,000 y 3,000 años a.c., y este conocimiento se extendió por Europa entre los años 3,000 y 2,000 a.c., y se utilizó para fabricar armas y herramientas afiladas, pero también al ser descubierta la técnica de la cera perdida, en la que se formaba un núcleo central de arcilla, que luego se reviste con una capa de cera ablandada en agua caliente, de espesor igual al del objeto fundido; y sobre esta capa se grababan dibujos. Luego se revestía todo con arcilla fina, dejando aberturas para la colada y respiraderos para los gases, se dejaba secar y luego se cocinaba en un horno, recogiendo la cera, que se derretía dejando un vacío en el que se vertía el metal y así se pudo utilizar para fabricar ornamentos y monedas.

La Temperatura de fusión, es aquella temperatura a la cual un material pasa del estado sólido al líquido, transformación que se produce con absorción de calor.

El hierro se descubrió hacia el 1,900 a.c., en plena edad del bronce y su implantación fue gradual, ya que el cobre funde a 1083 °C mientras que el hierro lo hace a 1537°C. El hierro reemplazó al bronce como material de fabricación de instrumentos y armas, ya que era un metal mucho más resistente y duradero que el bronce. Pero esta etapa solo fue posible hasta que se inventó el horno metalúrgico, el cual estaba construido con piedras juntas entre si, luego rellenas de barro para sellar los intersticios, o revestidas de arcilla, más o menos refractaria, para que no escapara el calor, y tenía una cavidad debajo del fuego, de donde se extraía en estado fluido o se recogía en estado pastoso la masa metálica formada. El fuego debía estar contenido superiormente, en un recinto alto y estrecho, para concentrar el calor. El material se echaba desde arriba: un poco de mineral, y luego leña, y se soplab el fuego con fuelles para activar mejor la combustión. Esto producía un material rojizo, resistente y maleable que después se trabajaba mediante el uso del martillo para darle la forma requerida.



Crisol primitivo para la reducción del mineral de hierro

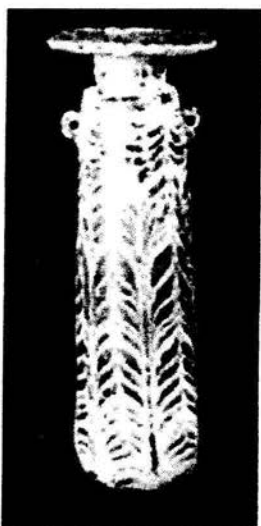
Uso de los metales en México.

En México, la metalurgia se desarrolló entre el 600 y el 700 d.c., y los aztecas conocían los siete elementos de los alquimistas (oro, plata, cobre, estaño, mercurio, plomo y hierro. Se ha insistido en que sólo trabajaban los metales nativos, o sea que nunca alcanzaron la edad del hierro, ya que este metal lo encontraron únicamente en meteoritos. Sin embargo, según, un hacha hallada en Monte Albán, con 18% de hierro, prueba lo contrario.

En Mesoamérica los primeros objetos de bronce se crearon en torno al siglo XIII d.C., durante las culturas Mixteca, Huasteca y Azteca. Y se empezó a utilizar el bronce poco después del año 1,000 d.C. El trabajo al que se dedicaba mayor atención era el de los metales preciosos: el oro y la plata.

El vidrio.

Después del 2,000 a.c., se descubrió en Mesopotamia de manera accidental, que cuando se ponían en contacto con el fuego arena, cal y ceniza, el resultado era algo nuevo, brillante y transparente, un paradójico sólido fluido, el vidrio.



Pieza antigua decorada (Mediterráneo, siglos IV-III a.c.)

Grecia.

Los griegos fueron de entre varios pueblos del mediterráneo, los que lograron un mayor éxito en la explotación de las condiciones creadas por el descubrimiento del hierro. Esto creó un poderoso movimiento intelectual alrededor del 600 a.c., llevado a cabo por los filósofos griegos, quienes ofrecieron las primeras hipótesis sobre la diversidad del mundo material a partir del reconocimiento de una o varias sustancias fundamentales y sus transformaciones.

Heráclito, juzgaba que el fuego era el elemento primordial, debido a su gran actividad y a que puede transformarlo todo.



Heráclito

(544 – 484 a.c.)

Nació hacia el 544 a.c., en Efeso, antigua ciudad de Asia Menor perteneciente a la actual Turquía. Muy poco se sabe de su vida, apodado el Oscuro por el carácter enigmático que revistió a menudo su estilo, como testimonia un buen número de los fragmentos conservados de sus enseñanzas.

Éstas, quedaron recogidas en una obra titulada De la naturaleza de las cosas, que trataba del universo, la política y la teología; y ha llegado hasta nosotros gracias a que fueron preservados por escritores posteriores.

A tenor de lo que se desprende de los diversos fragmentos, Heráclito explicó la práctica totalidad de los fenómenos naturales, atribuyendo al fuego el papel de constituyente común a todas las cosas y causa de todos los cambios que se producen en la naturaleza.

El universo de Heráclito, estaba formado por contrarios en perpetua oposición, lo cual era condición del devenir de las cosas y, al mismo tiempo, su ley y principio; pero los contrarios se veían conducidos a síntesis armónicas por el logos, proporción o medida común a todo, principio normativo del universo y del hombre que, resultaba coextensivo con el elemento cósmico primordial, el fuego.

Cada par de opuestos era una pluralidad y, a la vez, una unidad que depende de la reacción equilibrada entre ambos; el equilibrio total del cosmos se mantiene merced a la interacción sin fin entre los opuestos, garantía de que el cambio en una dirección acabará por conducir a otro cambio en la dirección contraria. Heráclito incorporó el concepto de "devenir" o flujo, al que consideró una realidad básica subyacente a todas las cosas, incluso a las más estables en apariencia. Murió en el 484 a.c., en Efeso.

Empédocles, demostró que el aire es también una sustancia material; igualmente, estableció el orden jerárquico de los antiguos elementos, colocando a la tierra, el agua, el aire y el fuego, respectivamente, uno por encima del otro.



Empédocles de Agrigento

(483 – 430 a.c.)

Nació en Agrigento, en el año 483 a.c.. Fue una persona polifacética: sacerdote, místico, profeta, predicador, médico, poeta, filósofo y político.

Para dar cuenta de los cambios a los que está sometido el mundo, Empédocles afirmaba que debe haber más de un principio, por lo cual postuló la existencia de cuatro elementos: la tierra, el aire, el fuego y el agua, de cuyas combinaciones surgen todas las cosas.

Por ello, nada es verdaderamente destruido, sino sólo transformado en otra combinación. Una leyenda explica que, cansado de la vida y de que la gente no creyera en su carácter divino, Empédocles se suicidó saltando al cráter del volcán Etna en el 430 a.c..

La mayor parte de ésta filosofía natural de los filósofos griegos, fue recogida por Aristóteles (aunque hizo caso omiso de la teoría atómica de Demócrito), consolidándose el modelo de los cuatro elementos: agua, tierra, aire y fuego; y agregó un quinto elemento, el éter. Esta filosofía perduró por más de dos milenios, hasta el renacimiento.



Aristóteles

(384-322 a.c.)

Filósofo griego, el más ilustre sistematizador del saber antiguo, nació en Estagira, en el norte de la Grecia actual, en el año 384 a.c., en el seno de una familia de médicos.

Cuando tenía dieciocho años se trasladó a Atenas para formarse como filósofo en la Academia de Platón, donde permaneció durante los siguientes veinte años.

Tras la muerte de Platón, Aristóteles dejó Atenas y vivió durante algún tiempo en Asia Menor, en la corte de un tirano que había sido condiscípulo suyo, con cuya hija adoptiva se casó.

Posteriormente Filipo, rey de Macedonia, lo llamó a su corte y le encargó la educación de su hijo Alejandro.

Poco después de iniciar Alejandro su reinado, Aristóteles regresó a Atenas y allí fundó su propia escuela, alrededor del año 335 a.C., la célebre escuela de Atenas, conocida como el «Lyceum o Liceo de Atenas», donde desplegó una importante labor de investigación y enseñanza en las distintas ramas del saber.

Con la temprana muerte de Alejandro, Aristóteles, protegido suyo, tuvo que hacer frente al sentimiento antimacedonio que estalló en Atenas. Acusado de ateísmo, Aristóteles tuvo que exilarse y se refugió en Calcis, donde moriría al año siguiente, el 322 a.C., a los 62 años de edad.

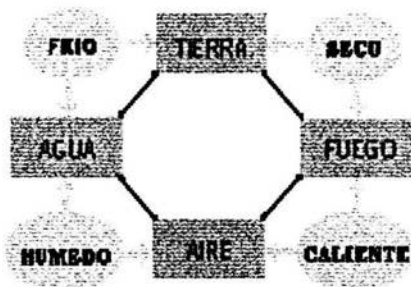
Aristóteles siempre conservó la influencia de su maestro, Platón, pero en su madurez supo superar el platonismo hasta configurar su propio sistema de pensamiento, que se separa del de Platón en un punto fundamental: Aristóteles no acepta que las ideas sean entidades subsistentes en un mundo separado de la realidad sensible; para él las ideas no son sino la esencia de las cosas, que se halla en las cosas mismas, cuya constitución explica mediante los conceptos de potencia y acto, materia y forma, o la teoría de las cuatro causas (material, formal, eficiente y final).

A Aristóteles de Estagira, se le reconoce tanto por la extraordinaria riqueza de sus conocimientos como por la sagacidad de sus juicios y la admirable concisión de sus exposiciones.

Entre sus obras, se encuentran el «Órganon o "instrumento"», en el cual se encuentran recopilados sus trabajos: Obras de Lógica; escritos sobre ciencias de la naturaleza: Física, El cielo, De la generación y corrupción, Sobre el alma...etc. Para Aristóteles, "física" significaba el estudio cualitativo de los fenómenos naturales, sin considerar para ello la asistencia de las matemáticas.

Aristóteles, fundamentalmente, era un filósofo. Pero también hizo aportes a las ciencias del estudio del universo. Como investigador, Aristóteles era en esencia un naturalista. En la cosmología aristotélica la Tierra era imperfecta y situada al centro del universo. Se componía de cuatro elementos centrales: tierra, aire, agua y fuego que se movían, desde su punto de vista, en movimientos rectilíneos y esporádicos. Por el contrario, el movimiento de los cuerpos celestes (el Sol, planetas y las estrellas, compuestos de éter o quinta esencia) era continuo y circular. A fin de explicar el movimiento independiente de los planetas, Aristóteles propugnaba que ellos rotaban haciéndolo sobre esferas concéntricas (sistema geocéntrico).

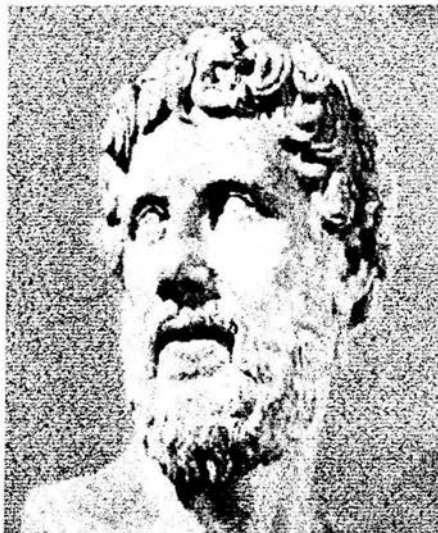
Este sistema fue asumido por la cristiandad en el siglo XIII, llegando a adquirir un rango ritualizado como fundamento universal de la concepción del mundo, hasta que fueron debatidas por Copérnico.



Los cuatro elementos

Demócrito, imaginó un universo formado por innumerables partículas indivisibles o *átomos* sustancialmente idénticos que se movían en el espacio vacío. Los átomos eran eternos e indestructibles, tenían diversas formas geométricas, que explicaban su capacidad para combinarse y formar todas las cosas del mundo; y su movimiento explicaba todos los cambios visibles.

La introducción de la idea del vacío en la filosofía fue un paso atrevido, ya que era aborrecida por todos los filósofos eminentes, entre ellos Aristóteles y esto provocó que esta idea fuera abandonada.



Demócrito de Abdera

(460 - 370 a.c.)

Nació en Abdera en el año 460 a.c.. Fue uno de los autores más prolíficos de la Antigüedad, aunque sólo se conservan fragmentos de algunas de sus obras, en su mayoría de las dedicadas a la ética, pese a que se le atribuyen diversos tratados de física, matemáticas, música y cuestiones técnicas. Fundó la doctrina atomista, que concebía el universo constituido por innumerables corpúsculos o átomos sustancialmente idénticos, indivisibles («átomo» significa, en griego, inseparable), eternos e indestructibles, que se encuentran en movimiento en el vacío infinito y difieren entre sí únicamente en cuanto a sus dimensiones, su forma y su posición. La inmutabilidad de los átomos se explica por su solidez interior, sin vacío alguno, ya que todo proceso de separación se entiende producido por la posibilidad de penetrar, como con un cuchillo, en los espacios vacíos de un cuerpo; cualquier cosa sería infinitamente dura sin el vacío, el cual es condición de posibilidad del movimiento de las cosas existentes.

Todo cuanto hay en la naturaleza es combinación de átomos y vacío: los átomos se mueven de una forma natural e inherente a ellos y, en su movimiento, chocan entre sí y se combinan cuando sus formas y demás características lo permiten; las disposiciones que los átomos adoptan y los cambios que experimentan están regidos por un orden causal necesario.

En el universo, las colisiones entre átomos dan lugar a la formación de torbellinos a partir de los que se generan los diferentes mundos, entre los cuales algunos se encuentran en proceso de formación, mientras que otros están en vías de desaparecer.

Los seres vivos se desarrollan a partir del cieno primitivo por la acción del calor, relacionado con la vida como también lo está el fuego; de hecho, los átomos del fuego y los del alma son de naturaleza similar, más pequeños y redondeados que los demás. Murió en Abdera en el año 370 a.c..

Posteriormente, la ciencia griega se desplazó a Alejandría, en cuya escuela hubo grandes pensadores; y, de entre ellos surgieron Filón de Bizancio (siglos III-II antes de Cristo) y Herón de Alejandría (siglo I antes de Cristo ?).

Algunos efectos de la dilatación de los sólidos y de los líquidos habían sido observados y la expansión térmica del aire y del vapor de agua se había aplicado al funcionamiento de ingeniosos instrumentos utilizados muy a menudo como autómatas.

En este sentido, describieron en sus *Pneumáticos* una especie de termoscopios que permitían evidenciar el acaloramiento o enfriamiento del aire contenido en un balón. Sin embargo, parece que en esta ocasión no se hizo ningún intento de localización de temperatura; en efecto, aunque Filón estaba influenciado por el mecanicismo democriteo a través de Estratón, se refiere explícitamente a la teoría aristotélica de las cualidades.

Heron inventó la primera turbina de vapor, a modelo reducido, en la que una esfera hueca estaba montada sobre dos soportes colocados encima de la tapadera de un recipiente con agua hirviendo. Uno de los soportes estaba hueco y dejaba pasar el vapor desde el recipiente a la bola. Este vapor a su vez escapaba de la esfera a través de dos tubos torcidos, que creaban así la fuerza que hacía girar la bola.

También construyó un altar hueco, en el que, cuando se prendía el fuego, el aire caliente fluía a través de cuatro tubos curvados que hacían bailar a unos títeres.

Utilizando la energía del vapor o del agua, y dispositivos como tornillos, palancas y poleas, construyó diversos juguetes y mecanismos.



Filón de Bizancio

(290-220 a.c.)

Filón de Bizancio vivió en el siglo III a.C., y fue un científico al que se atribuye la intuición sobre la compresibilidad del aire. Descubrió que al calentar el aire éste experimenta una dilatación. Además comprobó que el aire contenido en un recipiente se consume si se introduce un elemento en combustión en su interior.

De sus escritos, recogidos en una obra de nueve libros, el *Tratado de mecánica*, sólo quedan algunos fragmentos: uno sobre las máquinas de guerra y otro sobre neumática.

Filón es conocido sobre todo por la gran precisión y exactitud con que describió algunas máquinas de uso bélico.

Estas armas habían hecho su aparición durante el reinado de Alejandro Magno, como consecuencia de la mayor preponderancia que desde aquel momento habían adquirido la caballería y la infantería ligera.

Muchos de los artilugios descritos por Filón se basaban en la tensión o en la torsión de los cuerpos elásticos.

Además de por la mecanización de los instrumentos bélicos de su tiempo, Filón es recordado por haber inventado la cadena, el muelle y un aparato que puede considerarse como el precursor del termómetro.



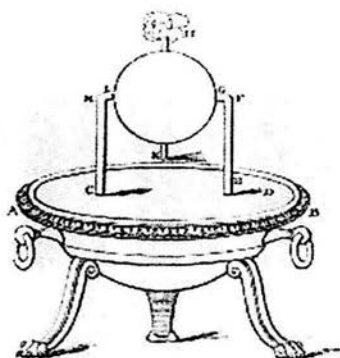
Heron de Alejandría

(?126 - ?250 a.c.)

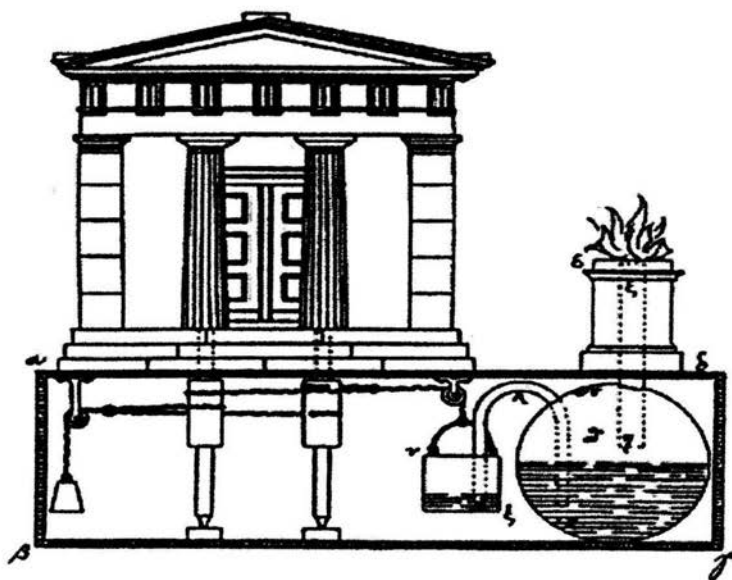
Matemático e inventor griego. En su principal trabajo sobre geometría (*Métrica*) enumera diferentes maneras de hallar el área de triángulos, cuadriláteros, polígonos regulares, círculos, elipses, superficies y volúmenes de cilindros, conos y esferas.

En él se incluyen, además, la conocida fórmula que permite calcular el área de un triángulo a partir de la longitud de sus lados, y un método aproximado para hallar la raíz cuadrada de un número, usado hoy día por los modernos ordenadores.

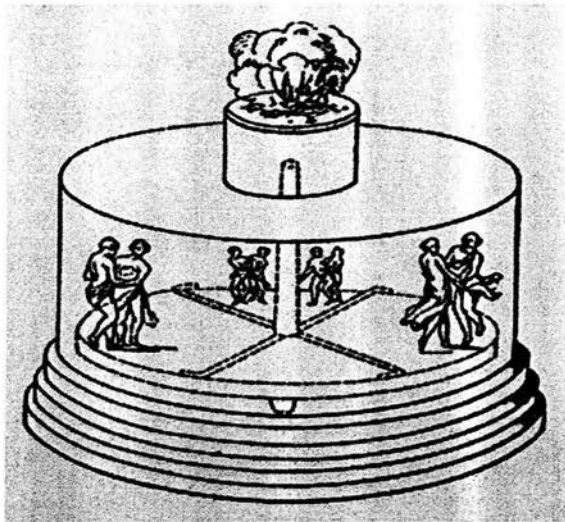
En otro libro, Neumática, describe el diseño de sifones, de máquinas que funcionan con monedas y del aelopilo, que vendría a ser el equivalente de una turbina de vapor.



Máquina de vapor de Herón



Mecanismo automático para abrir puertas



Dispositivo para producir movimiento de unas figuras por medio de calor. En su Pneumáticos, Heron presentó un dispositivo particular que reproduce un altar para sacrificios. Rodeado por una tapa de vidrio, un tubo hueco descansa sobre un clavo en el centro de la base circular. En la extremidad inferior del tubo, y en comunicación con el mismo, dos pequeños tubos doblados en ángulos rectos. Figurillas que simulan una danza están colocadas sobre la base giratoria. Cuando el fuego sacrificial se enciende en la base, el aire calentado comienza a circular dentro del contenedor, donde, contenido por la tapa, se transforma en energía que genera el movimiento de las figurillas situadas en la base del aparato. El dispositivo, demuestra como la energía producida por calor almacenado, puede ser explotada para producir formas de movimiento.



Hypatia de Alejandría

(370 – 415 d.c.)

Matemática, astrónoma y filósofa, nacida en Alejandría. Aunque la mayoría de sus escritos se ha perdido, existen numerosas referencias a ellos. Fue la última científica pagana del mundo antiguo. Al nacer, la vida intelectual de Alejandría se encontraba sumida en una peligrosa confusión. El Imperio romano se estaba convirtiendo al cristianismo, y era muy frecuente que los cristianos celosos sólo vieran herejía y maldad en las matemáticas y la ciencia. Algunos de los padres del cristianismo resucitaron las teorías sobre una tierra plana y un universo en forma de tabernáculo.

El padre de Hypatia, Theón, era un matemático y astrónomo. Supervisó todos los aspectos de la formación de su hija, educándola en un ambiente de pensamiento. Viajó a Atenas y a Italia. Al volver a Alejandría, se dedicó a la enseñanza de las matemáticas y la filosofía. El Museo había perdido su preeminencia, y Alejandría contaba con escuelas diferentes para paganos, judíos y cristianos. Sin embargo, enseñaba a miembros de todas las religiones, y quizá haya sido titular de una cátedra municipal de filosofía.

La mayoría de sus escritos eran libros de texto para sus estudiantes. Ninguno ha permanecido intacto, pero es posible que partes de su obra estén incorporadas en los tratados existentes de Theón.

Su trabajo más importante fue en álgebra. Escribió un comentario sobre la *Aritmética* de Diofanto, en 13 libros.

Los comentarios de Hypatía incluían algunas soluciones alternas y muchos nuevos problemas, que luego fueron incorporados a los manuscritos diofánticos.

También escribió un tratado *Sobre la geometría de las cónicas de Apolonio*, en ocho libros. El texto de Hypatia era una vulgarización de su obra, facilitando el entendimiento de estos conceptos.

Además de la filosofía y las matemáticas, se interesaba en la mecánica y la tecnología práctica. En las cartas de Sinesio están incluidos sus diseños para varios instrumentos científicos, incluyendo un astrolabio plano, que se usaba para medir la posición de las estrellas, los planetas y el Sol, y para calcular el tiempo y el signo ascendente del zodiaco.

Hypatia también desarrolló un aparato para destilación de agua, un instrumento para medir el nivel del agua, y un hidrómetro graduado de latón para determinar la gravedad específica de los líquidos (densidad).

Roma

Con la desaparición del gran imperio consolidado por Alejandro, y el posterior sometimiento de los Griegos al poder de los romanos, quedó seriamente comprometido el avance del saber científico.

El aletargamiento de las ciencias en este período se ha relacionado con la falta de interés de la cultura romana por los saberes científicos – filosóficos.

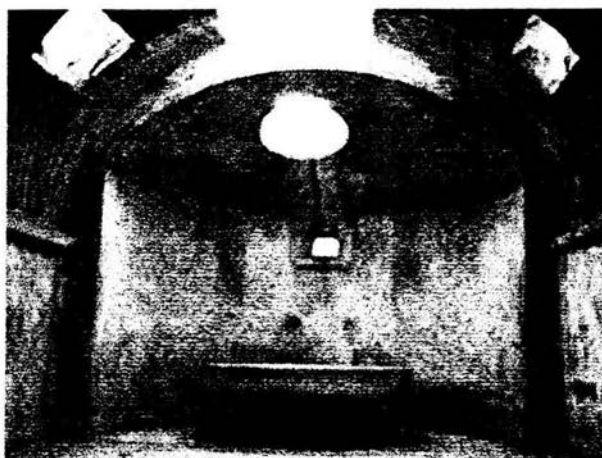
Se ha reportado que Zósimo de Tebas, estudió la acción disolvente del ácido sulfúrico sobre los metales. Este descubrimiento podría haber resultado la más sobresaliente aportación de los romanos pero fue ignorado por los que tiempos después continuaron el estudio de las transformaciones de las sustancias. Zósimo además apreció la liberación de un gas al calentar el óxido rojo de mercurio. Más de diez siglos pasaron para que esta misma reacción fuera estudiada e identificado el gas oxígeno.

Las Termas Romanas

Las termas hechas por los romanos fueron imitadas de Grecia, cuando estos conquistaron a esta última en el 196 a.c., y presentan, como innovación típicamente romana, un gran recinto abovedado y tibio; el baño caliente; el baño frío; el baño de vapor, habitación pequeña y circular muy caliente cuya temperatura se regulaba mediante un disco metálico pendiente de unas cadenas y que cerraba más o menos la abertura central de la cúpula. El sistema de calefacción fue inventado por un romano, Sergio Orata de la época de Cicerón. Consistía en un horno, construido bajo una cámara especial; irradiaba aire caliente por una tubería, a través de cavidades dispuestas en un suelo de doble piso y de paredes de ladrillos huecos.



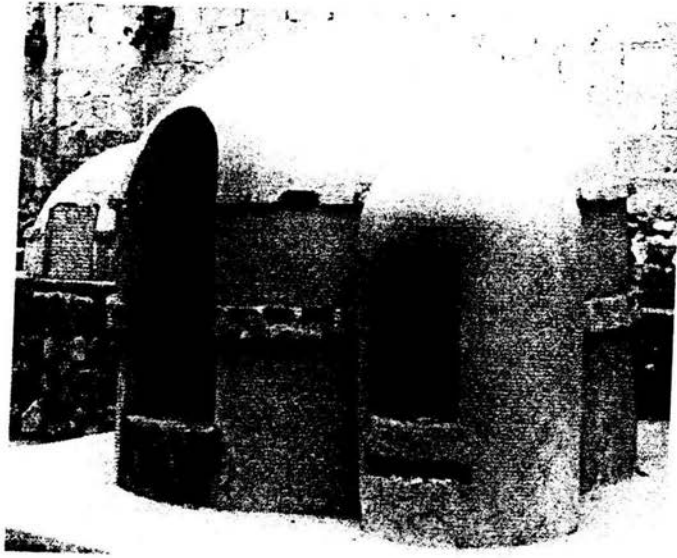
Termas de Caracalla



Termas de Foro, Roma

Las Termas en México

El Temazcal es un baño hecho en México, y cuyos vestigios más antiguos se hallan en las zonas arqueológicas de Palenque en Chiapas, aunque sus orígenes podrían ser más remotos. Su nombre de raíz nahua significa casa de vapor (Temaz - vapor, calli - casa). El temazcal es una estructura cerrada de pequeñas dimensiones confeccionado en adobe de un metro y medio de alto por dos y medio de longitud, en la cuál se introducen piedras porosas previamente calentadas al rojo vivo. Una característica que le da identidad propia al baño mexicano, es que en él, no se vierte agua sobre las piedras para producir el vapor sino una infusión de plantas medicinales. El vapor es manejado, dirigido y aprovechado gracias a la utilización de un ramo frondoso de plantas frescas con el que se abanica. Los Temazcales varían en su forma y práctica en las distintas regiones en que se utilizan, sin embargo se trata siempre de aposentos reducidos con techos bajos, sellados a la intemperie y oscuros.



Baño de Temazcal

Edad Media

Ciencia Árabe.

Los árabes le dieron nueva vida al conocimiento griego, pero tuvo algunos cambios que lo mejoraron, aunque fueron influenciados por las obras de Platón y Aristóteles.

Fue en la química en donde los árabes hicieron la mayor contribución a la ciencia, ya que sus tratados revelan un conocimiento directo de las técnicas de laboratorio para la manipulación de drogas, sales y metales preciosos. Los árabes trabajaron sobre la base de los conocimientos adquiridos de Egipto y Babilonia. También aprovecharon en gran medida los conocimientos químicos de los chinos y los hindúes, pero acumularon y transmitieron toda la experiencia adquirida y la propia como un todo comprensible y basada sobre algunos principios generales con lo que la química se convirtió en una ciencia formal.

El alambique, uno de los aparatos clave para el avance de la química, que ya había sido inventado por los griegos, fue mejorado por los químicos árabes, quienes lo utilizaron a gran escala para la destilación de perfumes.

Y también, lograron condensar ácidos minerales como el ácido nítrico, sulfúrico, clorhídrico y acético, con los cuales pudieron realizarse reacciones nuevas.

Para tratar de explicar la explosión de la pólvora, la química y la física medievales se vieron sometidas a un esfuerzo extremo. Se trataba de la acción de un fuego; pero, este no requería de aire. Se hizo entonces la especulación de que el nitrato de potasio era el que suministraba aire y, recíprocamente, que el aire contenía nitrato de sodio. Esta especulación se convirtió en el modelo de todos los intentos de explicar la combustión y la respiración.



Destilación de esencias

Las Termas Árabes

Los árabes adoptaron las termas de los romanos entre el 600 y 700 d.c., las cuales eran de forma rectangular. El espacio principal era la sala de vapor, el *hamman*, que daba nombre al conjunto. Su suelo era de mármol soportado por multitud de pequeños pilares de ladrillo que permitían que circulara aire caliente, que se adhería al suelo para calentarlo, y esto se lograba con unas calderas que lo calentaban y también sobre el suelo se vertían aguas perfumadas para su evaporación. Sus muros estaban recorridos por chimeneas escondidas por las que circulaba agua caliente. En ambos extremos se abrían sendas alcobas, cubiertas con bóvedas vaídas provistas de cinco luceras, que se apoyaban en un arco de herradura apeado sobre columnas de entrego: El espacio central de la sala caliente se cubría con una bóveda, en la que se abrían 15 luceras sobre el pavimento.

Ciencia Europea.

Mientras en los imperios orientales y en el Islam se produjo un gran desarrollo cultural, la mayor parte de Europa sufría aún las consecuencias de la confusión provocada por el colapso del Imperio Romano y las invasiones de los bárbaros. El impacto del saber árabe, trajo consigo un caudal de conocimientos clásicos mucho más rico que el conservado en el Occidente.

La influencia del cristianismo sobre el lento desarrollo del conocimiento científico en todo este período se explica atendiendo a los nuevos esquemas de pensamiento que esta religión portaba y a los intereses que defendía la nueva estructura del poder eclesiástico. Las principales preguntas y cuestionamientos que se hicieron los pensadores anteriores quedarían encadenadas por un dogma: sólo hay conocimiento en Dios y genuina vida en la fe. Se pretendió que el hombre cristiano se preocupara más por su alma eterna que por sus relaciones con los fenómenos naturales y la posible penetración en la esencia de los mismos mediante el estudio y el razonamiento.

Hasta el cierre definitivo de la Academia en el siglo VI por el emperador Justiniano la pálida producción del conocimiento filosófico de la época se asocia a la traducción de clásicos y al replanteamiento de las ideas contenidas en los sistemas de Platón y Aristóteles.

La escasa investigación científica de esa época se realizó con propósitos religiosos y estuvo a cargo de clérigos.

Se comenzó a utilizar el proceso de la destilación, aunque la mayor parte de los pasos conducentes ya habían sido dados por los árabes. Como la destilación de perfumes y aceites ya era conocida, es posible que la del alcohol se haya descubierto accidentalmente al estar preparando alguna medicina. La clave de esta destilación consistió en encontrar el modo de enfriar el alambique lo bastante como para poder condensar el alcohol, tal como ya se venía haciendo en el agua. Pronto pudo elaborarse en forma concentrada como para arder, lo cual aumentó su prestigio.

La captura de los destilados del alcohol dio impulso a la aplicación del mismo procedimiento a otras sustancias.

Los condensadores enfriados por agua y mucho más eficientes, que se fabricaron industrialmente, permitieron condensar otras sustancias volátiles, como el éter.

El serpentín y el condensador completaron el alambique y a la retorta, como principales aparatos de laboratorio, haciendo posible la química orgánica.



La destilación del alcohol. La palabra destilación proviene del latín destillare, que equivale a "goteo", refiriéndose a los últimos pasos del proceso por el cual el vapor se condensa para formar un líquido. Así se incrementa el contenido alcohólico de líquidos obtenidos de la fermentación. La destilación se realiza en alambiques. La figura muestra el que se utilizaba en la Edad Media.

La comprensión del proceso físico de la destilación, y, particularmente, la transferencia de calor del fuego al agua del condensador, resultó ser muy difícil; y fue sólo hasta que Black consiguió establecer en base a este proceso, su doctrina del calor latente, que sirvió como principio para el desarrollo de la termodinámica. A la vez, fue con apoyo en esta doctrina como Watt (constructor de los instrumentos de Black) inventó el condensador separado, que fue la primera máquina térmica eficiente.

El *alambique* fue uno de los instrumentos alquímicos más tradicionales. Pertenece a la familia de los destiladores y fue rápidamente adoptado por los químicos modernos.

Dicho aparato consistía en una botella destinada a contener el líquido a destilar, existiendo en la parte superior un tubo de desagüe o "solen".

Existían muchas variaciones y combinaciones de alambiques, pero fundamentalmente eran todos iguales; lo mejor que podían hacer con sustancias moderadamente volátiles queda demostrado en su uso en la extracción de aceites esenciales de las plantas.

El *athanor*, era un horno de la Alquimia, en el que se introducían vasos para mantenerlos a las temperaturas requeridas por el Arte.

Athanor proviene de Athanatos, inmortal, porque el fuego no debe ser apagado jamás. También se entiende por Athanor, las sustancias preparadas que sirven de envoltorio al núcleo central donde dormitan las facultades latentes que el fuego activa.



Destilación en un laboratorio alquimista

CAPITULO II

RENACIMIENTO A

SIGLO XVIII

Durante el Renacimiento se desarrolla una gran revolución científica, la cual tiene lugar en el siglo XVI con la llegada de la filosofía experimentalista, y es un periodo en el cual se derrumban muchas de las ideas aristotélicas, heredadas de la época clásica en Grecia.

La publicación por Commandino en 1575 de una traducción latina de los Pneumáticos de Herón (una especie de termoscopios que permitían evidenciar el acaloramiento o enfriamiento del aire contenido en un balón), volvió a poner de moda estos instrumentos en el momento en que los principios de la Física aristotélica empezaban a ser seriamente criticados.

El concepto más singular en Termodinámica es el de temperatura (la energía es común a otras ciencias físicas, y la entropía a otras ciencias informáticas). La temperatura es una variable intensiva que puede definirse como una medida indirecta del grado de excitación de la materia, y mide el nivel térmico o grado de calentamiento de los cuerpos.

Aunque el estudio de los fenómenos térmicos puede remontarse a los sabios griegos que describieron aparatos donde se comprimían aire y vapores, es tradicional asociar el comienzo de la Termodinámica con el primer termómetro, atribuido a Galileo (también parece ser que fue él el primero en utilizar el concepto de energía). Pese a que ahora sabemos que las variaciones de presión pueden desvirtuar las medidas de temperatura, el concepto de temperatura era ya patente.

Galileo estimuló con sus nuevos inventos a otros científicos de la Accademia del Cimento, de Florencia, para que desarrollasen instrumentos más adecuados.

Estos primeros aparatos tuvieron ya algunas aplicaciones "científicas" en Meteorología, en Agricultura (estudio de la incubación de huevos), en Medicina (fiebres), etc., pero las escalas eran tan arbitrarias como "la temperatura del día más frío del invierno", lo que impedía toda comparación, hasta que Fahrenheit introdujo el termómetro de precisión.



Galileo Galilei

(1564 – 1642)

Galileo Galilei nace en Pisa en 1564. Era hijo de Vincenzo Galilei de Florencia y Giulia degli Ammannati de Pescia. Su padre ocupó un lugar importante en la revolución musical que implicó el paso de la polifonía medieval a la modulación armónica.

En 1574 su familia se muda a Florencia. En 1579 ingresa en el monasterio de Santa Maria di Vallombrosa, donde considera la idea de unirse a la orden, pero ese mismo año regresa a Florencia.

Inscrito en 1581 en la Universidad de Pisa, como estudiante de medicina, Galileo descubrió la ley fundamental del movimiento pendular viendo oscilar, según cuenta la pequeña historia, la gran araña de la catedral de Pisa, y aplicó esta ley a un instrumento que permite tomar el pulso a los enfermos. Excluido de la Universidad de Pisa, a causa de su espíritu libre e independiente, cuando cursaba su tercer año de medicina, Galileo regresó a Florencia en 1585, donde fue discípulo del matemático Ostilio Ricci y se distinguió muy pronto con un ensayo sobre el centro de gravedad de los sólidos.

En 1589, después de años de dificultades materiales, fue nombrado profesor de matemáticas de la Universidad de Pisa donde emprende sus experimentos sobre la caída de los cuerpos y el movimiento de los proyectiles.

En 1590 publicó sus resultados en "De motu gravium", recibidos con hostilidad por los científicos de la época a causa de sus ataques contra la ciencia clásica. Abandonó entonces la Universidad de Pisa para ocupar una cátedra de matemáticas en la de Padua. En Padua es donde realizó sus trabajos fundamentales sobre la estática y sobre las temperaturas y la noción de calor. Siguió enseñando a sus discípulos el sistema de Tolomeo, pero se sabe que en aquella época ya estaba convencido del valor del sistema de Copérnico y de los trabajos de Kepler (Carta a Kepler de 1597).

Entre 1589 y 1592 Galileo demuestra que la velocidad de un cuerpo que cae es proporcional a su densidad, no a su peso, como había mantenido Aristóteles. Y lo prueba haciendo caer objetos en la torre de Pisa.

En 1592 Galileo consigue la cátedra de matemáticas en la Universidad de Padua. Su contrato inicial era por cuatro años, ampliable a dos más. Su ocupación era leer geometría y astronomía. Además, daba clases privadas de Euclida, aritmética, fortificaciones, cosmografía, óptica y el uso del compás. Un año más tarde inventa una máquina para elevar agua, empujado por caballos. En 1594 obtiene la patente de su diseño, por parte del senado veneciano.

En 1595 desarrolla su explicación sobre el movimiento diurno y anual sobre el movimiento de la Tierra. Su preferencia por la teoría Copernicana aparece este año. En 1597 inventa el compás geométrico y militar, consistente en un compás de dos ruletas con escala. Lo usó para resolver problemas prácticos. En 1599 inicia su relación con Marina Gamba, con quien tiene dos hijas.

En 1603, Galileo intentó por primera vez, aprovechar el hecho de que las sustancias se dilatan con el calor y se contraen con el frío, para observar los cambios de temperatura. Invirtió un tubo de aire caliente sobre una vasija de agua.

Cuando el aire en el tubo se enfrió hasta igualar la temperatura de la habitación dejó subir el agua por el tubo, y de este modo, consiguió Galileo su termoscopio, un termómetro primitivo. Cuando variaba la temperatura del aposento cambiaba también el nivel de agua en el tubo.

Si se calentaba la habitación, el aire en el tubo se dilataba y empujaba el agua hacia abajo; si se la enfriaba, el aire se contraía y el nivel del agua ascendía. La única dificultad fue que aquella vasija de agua donde se había insertado el tubo, estaba abierta al aire libre y la presión de éste era variable. Ello producía ascensos y descensos de la superficie líquida, es decir, variaciones ajenas a la temperatura que alteraban los resultados.

En 1604, experimenta con el movimiento acelerado sobre un plano inclinado, juzgando las posiciones de una bola en intervalos de tiempo. Estos experimentos le llevan a la ley de los cuerpos en caída libre, aunque Galileo necesitó de tres años más para llegar a la demostración matemática de esta ley; y ve por primera vez una supernova (estrella nueva). Su argumento se basa en sus propias medidas, que le hacen pensar que la nueva estrella está más allá de la Luna. Por tanto, se encuentra en el cielo, por lo que se debe admitir un cambio en los cielos.

En 1606 investiga por primera vez la hidrostática y la fuerza de los materiales. En 1607-1608 descubre la trayectoria parabólica de los proyectiles. En 1609, Galileo presenta su telescopio, ante el Senado Veneciano.

Galileo construyó un centenar de anteojos, uno de los cuales, con un aumento de treinta veces, fue el instrumento de sus primeros descubrimientos astronómicos descritos en una obra publicada en 1610: "*Sidereus nuntius*" (El mensajero de los astros). Con este antejo, Galileo pudo observar, que la Luna no era una esfera plana, sino que poseía relieves, montañas, valles, etc.; que el Sol presentaba sobre su disco ciertas manchas que, por su desplazamiento, indicaban que giraba sobre sí mismo; que el planeta Venus presentaba fases como la Luna, cosa que demostraba que estaba animado de un movimiento de rotación entorno al Sol como creía Copérnico.

Descubrió también, cuatro satélites de Júpiter y se dio cuenta de que las estrellas no poseían diámetro aparente, cosa que era un signo de su enorme lejanía. Abandonó entonces sus enseñanzas en la Universidad de Padua y regresó a Florencia.

En julio de ese año Galileo es nombrado "Catedrático de Matemáticas de la Universidad de Pisa y Filósofo y Matemático del Gran Duque de La Toscana.

Observa por primera vez la forma extraña de Saturno. Entre 1610 y 1611 comienzan los problemas de Galileo: Lodovico delle Colombe publica *Contra el Movimiento de la Tierra*, en contra de los descubrimientos celestes de Galileo, y Francesco Sizzi publica *Dianoia Astronómica*, Óptica, Física en contra de los mismos descubrimientos de Galileo.

En 1611 La Inquisición decide comprobar si Galileo aparece en el procedimiento de Cesare Cremonini, un profesor de filosofía, colega de Galileo en la Universidad de Padua. Mientras en Florencia, Galileo entra a estudiar el comportamiento de los cuerpos en el agua, tomando la posición de Arquímedes, frente a la de Aristóteles.

En febrero de 1614, Niccolo Lorini, se queja ante la Inquisición en contra de los puntos de vista Copernicanos de Galileo, y es denunciado luego ante la Inquisición. En diciembre va a Roma a defender las ideas copernicanas.

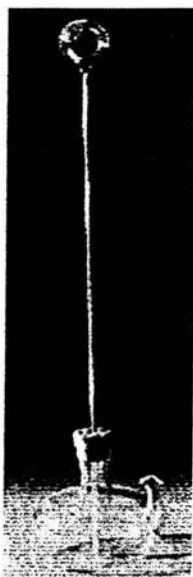
En enero de 1616 escribe su teoría sobre las mareas, que arguye él, prueban el movimiento de la Tierra. Un mes después un comité de consultores declara ante la Inquisición que la idea de que el Sol es el centro del Universo es absurdo en filosofía y formalmente una herejía; y que la idea de que la Tierra tiene un movimiento anual es absurda en filosofía y, al menos, un error en teología. Por órdenes del Papa Pablo V, el cardenal Bellarmine llama a Galileo a su residencia y le advierte que no continúe manteniendo o defendiendo la teoría de Copérnico. Un escrito anónimo de la Inquisición, descubierto en 1633, afirma que Galileo tiene prohibido discutir oralmente o por escrito su teoría. Galileo tiene una audiencia con el Papa Pablo V y es asegurado por él mismo.

En 1623, publicó el "Diálogo sobre los dos principales sistemas del mundo" y, a pesar de ciertas precauciones tomadas en su presentación, y del apoyo del papa Urbano VIII, el libro fue prohibido en 1632 y Galileo citado ante el tribunal de la Inquisición.

La abjuración de Galileo tuvo lugar el miércoles 22 de junio de 1633, no en una plaza pública como se dice en algunas citas, sino en la sala de honor del convento de Santa María Sopra Minerva.

Después de este penoso proceso, el ilustre sabio fue sometido a residencia vigilada primero en Siena y después en las afueras de Florencia, en Arcetri, donde reanudó sus trabajos de mecánica que expuso en los "Diálogos de las Nuevas Ciencias", obra que se imprimió clandestinamente en Amsterdam, en 1638.

En 1637 pierde la visión de su ojo derecho y un año más tarde queda ciego. En 1641 (totalmente ciego) Galileo concibe la aplicación del péndulo al reloj. En 1642 Galileo muere en Arcetri.



Termómetro de Galileo

Desde antes de 1650, se hicieron modelos más perfeccionados de termómetros en Florencia, bajo la protección del gran duque de Toscana.

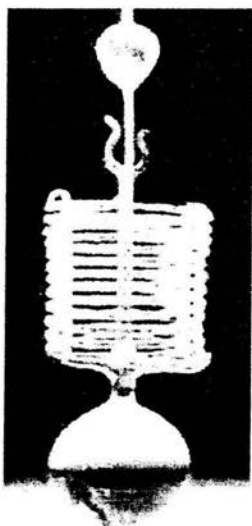
En 1654, el Duque de Toscana, fundador de la Academia Florentina de los Experimentos, aprovechando la entonces emergente tecnología de tubos capilares de vidrio, construye un termómetro de bulbo de alcohol con capilar sellado, el cual es independiente de la presión atmosférica, como los que usamos actualmente, y en esa época ya se empieza a distinguir entre temperatura (estado térmico) y calor (flujo de energía térmica). Para la construcción de estos aparatos fue fundamental el avance de la tecnología en el trabajo del vidrio.



Fernando II, Duque de Toscana

(1610 – 1670)

Nació en Florencia. Hijo de Cosme II fue duque de Toscana de 1621 hasta su muerte en Florencia en 1670. Inventó el primer termómetro sellado, en 1654. Este fue el precursor del actual termómetro de mercurio. Dominado por el clero, fue incapaz de proteger a Galileo, a quien admiraba.



Termómetro del Duque Fernando II de Toscana

A mediados del XVII, el científico inglés Robert Boyle constató que en los gases encerrados a temperatura ambiente el producto de la presión por el volumen permanecía constante, y también que la temperatura de ebullición disminuía con la presión. Posteriormente se descubrió, pese a la engañosa evidencia de nuestros sentidos, que todos los cuerpos expuestos a las mismas condiciones de calor o de frío alcanzan la misma temperatura (ley del equilibrio térmico). Al descubrir esta ley se introduce por primera vez una diferencia clara entre calor y temperatura. El físico inglés Robert Boyle hizo algo muy parecido sobre la misma cuestión, y fue el primero en demostrar que el cuerpo humano tiene una temperatura constante bastante superior a la del medio ambiente. Otros probaron que bajo una temperatura fija se producen siempre fenómenos físicos concretos. Cuando aún no había terminado el siglo XVII se comprobó esa verdad en el caso del hielo derretido y el agua hirviente.



Robert Boyle

(1627 - 1691)

Robert Boyle nació en el castillo Lismore, en la provincia de Munster, Irlanda. Hijo de Richard Boyle, el "Gran Conde de Cork". Aún niño, aprendió a hablar latín y francés, siendo enviado con tan sólo ocho años al colegio Eton, del cual era director el amigo de su padre Sir Henry Wotton. Tras cursar estudios durante tres años en el colegio, partió de viaje con un tutor francés. Pasó cerca de dos años en Génova y visitando Italia en 1641, pasó el invierno en Florencia estudiando las paradojas de Galileo Galilei quien fallecería al año siguiente.

De retorno a Inglaterra en 1644 se encontró con que su padre había fallecido dejándole el señorío de Stalbridge en Dorset, y haciendas en Irlanda. Desde entonces, dedicaría su vida al estudio e investigación científicas, tomando pronto un lugar prominente entre los inquisidores conocidos como el "Colegio Invisible" (*Invisible College*), cuyos miembros se consagraban al cultivo de la "nueva filosofía" (la ciencia). Sus miembros se reunían con frecuencia en Londres, a menudo en el colegio Gresham; algunos mantenían además reuniones en Oxford, ciudad a la que Boyle trasladó su residencia en 1654.

En 1657, leyendo acerca de la bomba de aire de Otto von Guericke, se propuso con la ayuda de Robert Hooke desarrollar mejoras en su construcción, que dieron por resultado la *máquina Boyleana* o *máquina neumática* finalizada en 1659 y con la que comenzó una serie de experimentos acerca de las propiedades del aire.

En 1660, publicó una relación de los trabajos realizados con ese instrumento con el título *New Experiments PhysicoMechanical touching the spring of air and its effects* (Nuevos experimentos físico-mecánicos sobre la elasticidad del aire y sus efectos).

Entre los críticos de las teorías expuestas en esta obra se encontraba Franciscus Linus (1595-1675), siendo mientras respondía a sus objeciones cuando Boyle enunció que *el volumen de un gas varía de forma inversamente proporcional a la presión*, conocida como Ley de Boyle, y en Europa como ley de Boyle-Mariotte, aunque éste último no la publicara hasta 1676.

$$P_0 \times V_0 = P_1 \times V_1$$

En 1663 el "Colegio Invisible" se convirtió en la "*Royal Society*", de Londres para el perfeccionamiento del conocimiento de la naturaleza, encontrándose Boyle entre los miembros del consejo nombrados mediante la cédula real de asociación concedida por Carlos II. En 1680 fue elegido presidente de la sociedad, aunque declinó el nombramiento.

En 1686 abandonó Oxford para trasladarse a Londres a la casa de su hermana, *Lady Ranelagh*, en Pall Mall. En torno a 1689, su salud, comenzó a fallar lo que le obligó a apartarse de sus compromisos públicos, cesando sus comunicaciones con la *Royal Society* y haciendo público su deseo de ser excusado de recibir visitas, salvo en ocasiones muy extraordinarias. Su salud empeoró en 1691, falleciendo el 30 de diciembre de ese mismo año.

Dentro de la actividad experimental del siglo XVIII cabe destacar, de forma importante, el estudio del calor que permitió desarrollar la calorimetría y puso las bases, para el siguiente siglo, de la termodinámica.

El avance en el conocimiento del calor se debe, sin lugar a dudas, de la evolución que en el siglo XVIII experimenta la termometría.

Aunque el termómetro se inventó en el siglo XVII, su perfeccionamiento se convirtió en un problema fundamental para la elaboración de una teoría sobre el calor. Se mejoraron las técnicas de obtención de instrumentos, y sobre todo los métodos de calibración.

Antes de la aparición de los termómetros de mercurio se construyeron termómetros de alcohol como los de Amontons y Reamur.

Amontons, en 1702-1703, adoptó como variable termométrica la presión de una cierta masa de aire mantenida bajo volumen constante y preservada de las fluctuaciones de la presión atmosférica; postulando a partir de resultados experimentales la dependencia de esta variable con respecto a la temperatura, rehabilitó el termómetro de aire en una forma mucho más satisfactoria y que alcanzará gran éxito a partir de mediados del siglo XIX.

El objetivo principal de Amontons era facilitar la comparación entre mediciones realizadas en diferentes lugares y distintas épocas, comparación que permitiera emprender una amplia encuesta meteorológica en toda la Tierra y extendida durante un largo período.

Anticipándose casi un siglo y medio a la noción de gas perfecto, definía la temperatura en forma de magnitud mensurable y no solamente observable, con lo cual introdujo de hecho la idea de temperatura absoluta, basándose en que al bajar la temperatura en un gas a volumen constante baja la presión, y ésta no podía ser negativa.

Los valores adoptados por Amontons para indicar las temperaturas de congelación y ebullición del agua - 51, 1/2 y 73 (en pulgadas de mercurio) permiten determinar su "cero absoluto", temperatura a la cual la presión del aire sería nula y que se llama "el extremo frío de este termómetro": - 239° C.

Dado que el agua se hiela tan pronto y el alcohol hierve con tanta facilidad, Guillaume Amontons recurrió al mercurio. En su aparato, como en el de Galileo, la expansión y contracción del aire causa que el mercurio ascienda o descienda.

Guillermo Amontons

(1663 – 1705)

Nació en París, en 1663. Amontons fue, ante todo, un físico experimental y constructor de instrumentos. Inventó, desarrolló y mejoró diversos barómetros, higrómetros y termómetros. Su primera producción científica, fue un higrómetro en 1687.

Este consistía de una bola de madera de haya, un cuerno, o una piel llena de mercurio; la cual variaba en tamaño de acuerdo a la humedad de la atmósfera. En 1688, desarrolló su barómetro acortado, compuesto de varios tubos paralelos conectados alternativamente con tubos llenos de mercurio.

A partir de la observación de que los gases se dilatan proporcionalmente a la temperatura a la que se encuentran, dedujo que debía existir un cero absoluto de temperatura. Amontons descubrió la ley según la cual la fricción por deslizamiento es independiente del tamaño de las superficies que rozan, a igualdad de masa del cuerpo que se encuentra en movimiento.

A partir del año 1697 Amontons fue nombrado miembro de la Academia Francesa de las Ciencias.

En 1699, propuso un motor térmico: una máquina que utilizaba aire caliente y combustión externa con rotación directa. Los experimentos que se llevaron a cabo en conexión con esta máquina, le permitió darse cuenta de que el aire ordinario que va de la temperatura de congelación del agua, a la de ebullición de la misma, incrementa su volumen alrededor de un tercio.

En 1702, de regreso al estudio de la termometría, se dio cuenta de que el agua deja de aumentar su temperatura cuando alcanza su punto de ebullición, y propuso que este último fuera un punto termométrico fijo. También observó que para una elevación de temperatura igual, el incremento de presión de un gas siempre existe en la misma proporción, no importa cual sea la presión inicial.

El siguiente año, estableció un modo práctico de graduar termómetros de alcohol ordinarios. Murió en 1705 en París.

En 1714, Gabriel Daniel Fahrenheit (1686-1736), perfeccionó el termómetro inventado por el científico italiano Galileo Galilei, y, popularizó el termómetro de mercurio en sustitución del de alcohol y agua que se utilizaba hasta entonces. Utilizando, pues, el mercurio como líquido termométrico, fue el primero en calibrar un termómetro al definir la llamada, hoy en día *escala Fahrenheit*. En dicha escala los puntos fijos elegidos corresponden a la temperatura de fusión del hielo y a la temperatura de ebullición del agua, a las cuales le corresponden 32 y 212 grados, respectivamente.

Con este termómetro de precisión Fahrenheit consiguió medir la variación de la temperatura de ebullición con la presión ambiente y llegó a proponer a la Royal Society en 1740 su uso como hipsómetro, es decir, como medidor de altitudes geográficas.

Daniel Gabriel Fahrenheit

(1686-1736)

Físico alemán nacido en Danzig, en 1686. En 1701, sus padres murieron y quedó al cuidado de un familiar, y después fue enviado a Amsterdam, a una escuela de negocios relacionados con la construcción de instrumentos científicos. Una vez que realizó sus estudios, se dedicó a viajar y posteriormente se estableció por temporadas en Holanda e Inglaterra, donde se dedicó a la elaboración de instrumentos científicos. En 1714 fabrica el primer termómetro con mercurio en vez de alcohol. Ideó la escala termométrica que lleva su nombre. Antes de llegar a la invención del termómetro de mercurio, Daniel Gabriel Fahrenheit descubrió un método para purificar el mercurio de manera que no se pegara en las paredes del tubo.

En 1717, determinó los puntos de su escala de temperatura, y tomó la temperatura de una mezcla refrigerante de agua y sal como el punto más bajo y la temperatura del cuerpo humano como el más alto. Luego dividió el espacio intermedio en 96 grados. Una vez logrado lo anterior, ajustó levemente la escala para no tener fracciones en los puntos de congelamiento y ebullición del agua. El punto de congelamiento quedó en 32 grados Fahrenheit (0 C), y el de ebullición en 212 Fahrenheit (100 C). Además inventó un higrómetro. Descubrió que además del agua, hay más líquidos que tienen un punto de

ebullición determinado con los cambios de presión atmosférica, y con base en esta característica, construyó un termómetro hipsométrico, el cual podía determinar la presión atmosférica directamente de una lectura del punto de ebullición del agua. También inventó un hidrómetro que fue modelo para posteriores hidrómetros. Falleció en La Haya, Holanda, en 1736.



Termómetro de mercurio

Hacia 1730, René-Antoine Ferchault de Reaumur (1683-1757) estudió la dilatación del termómetro de alcohol entre el hielo fundente e el agua hirviendo y descubrió que un volumen de alcohol de 1000 partes pasaba a 1080, por lo que, tomando como fijos estos dos puntos, dividió su escala en 80 partes. Es la *escala Reaumur*.



René Antoine Ferchault de Réaumur

(1683-1757)

Naturalista, físico y tecnólogo francés. Nació en 1683 en La Rochelle Francia. Réaumur comenzó sus estudios en su villa natal y los continuó más tarde con los jesuitas de Poitiers, para terminarlos en Bourges. Llegado a París en 1703, publicó allí tres memorias de geometría, que le abrieron, en 1708, las puertas de la Academia de Ciencias. Allí se encargó de dirigir una importante publicación: la Descripción de los diversos artes y oficios.

Sus investigaciones sobre las aleaciones ferrosas son particularmente importantes. A partir de 1722, Réaumur utilizó el microscopio para el estudio de la constitución de los metales, fundando así la metalografía. Mostró la posibilidad de transformar la fundición en acero mediante la simple adición de hierro metálico o de chatarra oxidada, y estudió la cementación y el templado del acero en su obra *El arte de convertir el hierro forjado en acero y el arte de dulcificar el hierro fundido* (1722).

Réaumur estudió también la ductilidad de los metales, la resistencia de los hilos retorcidos, la imanación del hierro.

Después, hacia 1725, puso a punto la fabricación del hierro blanco, otro producto que hasta entonces era importado de Alemania.

De 1727 a 1729, hizo investigaciones análogas sobre porcelanas de China y de Europa, y descubrió el vidrio desvitrificado, conocido con el nombre de porcelana de Réaumur.

Pero fue, mejor conocido por la escala termométrica que inventó. Los termómetros habían sido usados por alrededor de un siglo, pero no existían escalas universalmente aceptadas por los científicos. La escala Fahrenheit se comenzó a utilizar en Inglaterra y Holanda; pero con sus puntos fijos y su escala dividida linealmente en un determinado número de grados, solo era precisa si el diámetro interno de un tubo de termómetro estaba perfectamente regular.

Réaumur resolvió esta dificultad, construyendo hacia 1730, un termómetro con un solo punto fijo y un grado definido volumétricamente en términos de alguna fracción del volumen total de líquido en el bulbo del termómetro.

Para diseñar su termómetro de acuerdo a estos principios, construyó una serie de pipetas, la más pequeña igual al volumen de un solo grado y las otras iguales a 25, 50, o 100 veces el volumen de la más pequeña. Así, llenó un termómetro con 1000 mediciones del líquido.

Como no era necesario utilizar el líquido termométrico cuando se graduaba el termómetro, primero utilizaba agua y luego la sustituía por mercurio, el cual encontró más conveniente. El lugar en que el tubo del termómetro alcanzaba las 1000 mediciones del líquido, se le marcaba con 0° , y cada grado por debajo o por arriba de este punto era igual a $1/1000$ del volumen del líquido a 0° . Entonces, el termómetro graduado era vaciado y rellenado en un punto, justo debajo de la marca de 0° con el líquido termométrico, en este caso alcohol. El termómetro se ponía en hielo, y el alcohol era cuidadosamente introducido hasta que alcanzaba la marca del 0° . Después el tubo era sellado herméticamente.

Un serio inconveniente del termómetro de Réaumur es que diferentes clases de alcohol tienen diferentes coeficientes de dilatación, así mientras un tipo de alcohol se podía expandir un grado después de aplicarle un aumento de calor, otro se podía expandir dos grados bajo las mismas condiciones.

Era importante que todos los termómetros calibrados de acuerdo con su sistema tuvieran el mismo grado de alcohol. Réaumur, sugirió que el tipo de alcohol que debía de ser utilizado, era aquel que se dilatara 80°, - que es, 8 partes en 100 – entre la temperatura del hielo y la temperatura a la cual el alcohol empieza a hervir en un tubo de termómetro abierto.

Debido a una confusión de idioma en su artículo sobre el termómetro, se creyó que 80° de su escala era la temperatura de ebullición del agua; y así, cuando los termómetros de Réaumur comenzaron a ser fabricados por los artesanos de Paris, todos fueron calibrados linealmente con respecto a dos puntos, 0° para el hielo y 80° para el agua en ebullición.

Si la física y las artes mecánicas deben mucho al genio de Réaumur, éste contribuyó también en gran medida al progreso de las ciencias naturales. Sus primeros años, que pasó en parte a orillas del Atlántico, le proporcionaron la ocasión de estudiar los mariscos, la locomoción de las estrellas de mar y de los erizos de mar, del aparato eléctrico del pez torpedo, del desarrollo de los zoófitos.

Importante y novedosa su afición al estudio de los invertebrados y, particularmente, sobre su vida y sus costumbres. Su gran obra en seis tomos, desgraciadamente inacabada, *Memorias para utilizar en la historia de los insectos* (1734-1742) le ocupó hasta el fin de su vida.

Réaumur, también se interesó por los vertebrados. En este punto, se pueden citar sus memorias *Sobre el arte de hacer nacer y de educar en todas las estaciones a pájaros domésticos* (1749) y *Sobre la manera como se hace la digestión en la casa de los pájaros* (1752), esta última memoria, permitió, por primera vez, distinguir perfectamente las acciones mecánicas de las acciones químicas en la digestión gástrica. Falleció en 1757 en el palacio de Bermodiére / Mayenne Francia.

Newton había sugerido 12 partes iguales entre la congelación del agua y la temperatura del cuerpo humano. El número 96 viene de la escala de 12 grados, usada en Italia en el S. XVII ($12 \cdot 8 = 96$).



Isaac Newton
(1643 – 1727)

Isaac Newton nació en Woolsthorpe, Lincolnshire, en Inglaterra, en 1643. Su vida infantil fue prácticamente la de un huérfano, debido a la muerte de su padre y el nuevo matrimonio de su madre, viviendo con sus tíos.

Ingresó después en la Trinity College Cambridge, donde la instrucción estaba dominada por la filosofía de Aristóteles. Sin embargo, también estudió a Descartes, Gassendi, Hobbes y Boyle. El estudio de la descripción algebraica del movimiento de Descartes llevó a Newton a elaborar una dinámica escrita en una forma alternativa del álgebra, la geometría, y después puso la geometría en movimiento con el desarrollo del cálculo infinitesimal. Recibió su grado de bachiller en 1665.

Cuando la Universidad de Cambridge fue reabierta después de una peste, Newton fue nombrado profesor menor en Trinity College y después de su grado de maestro fue elegido profesor mayor. En 1669 fue recomendado para ocupar la cátedra lucasiana. Su primer trabajo en la cátedra fue sobre óptica. Diseñó y construyó el primer telescopio reflector.

Concluyó que la luz blanca no es una única entidad después de observar la aberración cromática de su telescopio y de realizar el experimento del prisma en donde pudo observar el espectro - de spectrum, fantasma - de los componentes individuales de la luz blanca y recomponerlo con un segundo prisma.

En 1666 Newton imaginó que la gravedad de la tierra influenciaba la Luna y contrabalanceaba la fuerza centrífuga.

Con su ley sobre la fuerza centrífuga y utilizando la tercera ley de Kepler, dedujo las tres leyes fundamentales de la mecánica celeste. Newton demostró que la fuerza gravitatoria disminuye según el cuadrado de la distancia y que esto da origen a las leyes de Kepler del movimiento planetario. Expuso la Ley de la gravitación universal: Entre dos cuerpos se ejerce una fuerza de atracción directamente proporcional al producto de sus respectivas masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que separa sus Centros de gravedad.

En 1687 Newton publicó *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, donde estableció los principios básicos de la mecánica teórica y la dinámica de los fluidos.

En transferencia de calor, Newton estudió el mecanismo de convección en forma comparativa observando la circulación de fluidos en un sistema de tubos cilíndricos concéntricos donde el fluido circulaba a contracorriente. En 1701, indicó que el calor transferido entre una superficie y un fluido era proporcional al área a través de la cual se transfiere calor y a la diferencia de temperaturas entre la superficie y el fluido.

Matemáticamente esto puede indicarse como:

$$Q = h A (T_s - T_f)$$

Esta es la ecuación de convección o "ley de enfriamiento", en donde h es el coeficiente de transmisión de calor por convección, T_s la temperatura de la superficie del sólido y T_f la temperatura media del fluido.

A pesar de sus estudios en alquimia no hizo contribución importante en este campo. En 1693, se retiró de la investigación. Viajó a Londres en donde fue guardián custodio de la casa de la moneda y director en 1699.

En 1703 fue elegido presidente de la Royal Society y fue reelegido cada año hasta su muerte. Fue nombrado caballero en 1705. Murió en 1727 en Londres.

En 1740, Celsius propuso los puntos de fusión y ebullición del agua al nivel del mar como puntos fijos y la división en 100 grados, aunque asignó el 100 al punto de hielo y el 0 al del vapor porque en Suecia interesaba más medir el grado de frío que el de calor; fue el botánico y explorador Carl Linneo, tras la muerte de Celsius, quien cambió el orden. Esta escala, que se llamó centígrada por contraposición a la mayoría de las demás graduaciones, que eran de 60 grados, según la tradición astronómica), basada en esos dos puntos fijos, ha perdurado hasta época reciente, adoptándose la temperatura del punto triple del agua como único punto fijo para la definición de la escala absoluta de temperaturas y la escala Celsius, desplazada 273,15 K respecto a la absoluta, que sustituía a la escala centígrada.



Anders Celsius
(1701-1744)

Anders Celsius, nació en Uppsala, Suecia, originario de Ovanåker en la provincia de Hälsingland. Sus abuelos fueron profesores en Uppsala: Magnus Celsius el matemático y Anders Spole el astrónomo. Su padre, Nils Celsius, también fue profesor en astronomía. Celsius, estudió astronomía, matemáticas, y física experimental; y en 1725 fue secretario de la sociedad científica de Uppsala. Después de enseñar matemáticas en la Universidad, fue designado profesor de astronomía en 1730.

Comenzó su "gran viaje", el cual duró cerca de cuatro años, en 1732, y visitó durante este tiempo casi todos los notables observatorios europeos, donde trabajó con muchos de los astrónomos más afamados del siglo XVIII.

Después de su regreso a Uppsala, participó en la famosa expedición del astrónomo francés Maupertuis en 1736 a Torneå, en la parte más norteña de Suecia. "La expedición Lapland".

El objetivo de la expedición fue medir la longitud de un grado a lo largo de un meridiano, cerca al polo, y comparar el resultado con una expedición similar a Perú (hoy Ecuador) cerca al ecuador. Las expediciones confirmaron la creencia de Newton, de que la forma de la tierra es un elipsoide achatado en los polos.

La participación de Celsius en esta expedición lo hizo famoso y fueron tan importantes sus esfuerzos que se interesó en donar a las autoridades suecas los recursos necesarios para construir un moderno observatorio en Uppsala. Tuvo éxito, y el observatorio estuvo listo en 1741, equipado con instrumentos adquiridos durante su largo viaje al extranjero, comprendiendo la más moderna tecnología instrumental de aquél entonces.

En aquellos días las mediciones geográficas, observaciones meteorológicas y otras cosas, no consideradas como astronomía hoy, fueron incluidas en el trabajo de un profesor de astronomía. Realizó muchas mediciones geográficas para el mapa general sueco, y fue también uno de los primeros que notó que la tierra de los países nórdicos se está elevando lentamente sobre el nivel del mar, un proceso que se ha dado desde el descongelamiento del hielo de la última era glacial. Creía que era el agua que se estaba evaporando.

Para sus observaciones meteorológicas construyó su famoso termómetro, denotando con 0 para el punto de ebullición del agua y 100 para el punto de congelación de la misma. Después de su muerte en 1744 la escala fue invertida a su forma presente.

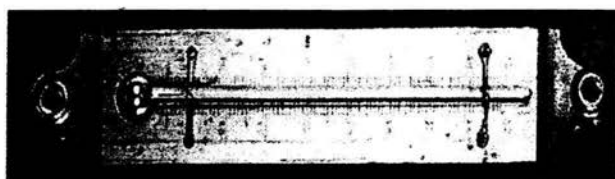
Junto con su asistente, fue también él, el primero en darse cuenta que el fenómeno de la aurora implicaba causas magnéticas mediante la observación de la inclinación de una aguja de una brújula, y encontrando que las grandes desviaciones correlacionaban con una actividad de aurora más fuerte.

En astronomía hizo observaciones de eclipses y varios objetos astronómicos. Publicó en 1740, catálogos de magnitudes cuidadosamente determinadas para un total de 300 estrellas; utilizando su propio sistema fotométrico (error principal = $H_0.4$ mag). La idea de su sistema consistía en utilizar platos transparentes de vidrio idénticos, y visualizando el rallo de luz de una estrella a través de estos.

Así pudo entonces comparar las magnitudes de las estrellas por el número de platos de vidrio que eran necesarios para oscurecer la luz. (La estrella Sirio, la más brillante estrella en el cielo, necesitó 25 de sus platos para que se oscureciera.)

Celsius publicó mucho de su trabajo en las publicaciones de la Sociedad Real de Ciencias Uppsala, dónde Celsius era el secretario (1725-1744); y en las publicaciones de la Real Academia Sueca de las Ciencias, fundada en 1739.

También presidió alrededor de veinte disertaciones en astronomía, dónde, era el autor principal. Anders Celsius murió de tuberculosis en abril de 1744, en Uppsala.



Termómetro de Celsius

Desde el siglo XVIII los progresos concretos realizados en Termometría permitieron extender las aplicaciones a la Química y a la Meteorología y, con la disociación de los conceptos de temperatura y de cantidad de calor, echar las bases de la Calorimetría, técnica indispensable para la creación de la Termodinámica.

La medición exacta de temperaturas muy altas es de gran importancia para toda una serie de procesos técnicos en los que se logran los resultados deseados sólo si es posible mantener ciertas temperaturas. Entre dichos procesos se encuentran, por ej., los relacionados con la fusión de los metales, los de la cocción de la cerámica, la fusión del vidrio y la sinterización de la porcelana.

Sin embargo, no es posible determinar con termómetros convencionales las altas temperaturas de las sustancias que se encuentran en aquel momento en un estado de incandescencia.

En 1731, el holandés Johann Joostem van Musschenbrock construyó el primer pirómetro. Este dispositivo se basa ante todo en el principio de la dilatación de una barra de metal por la acción del calor.

Este método permite medir la temperatura de la radiación térmica procedente de un material incandescente o de las llamas de un horno, a distancia. Esto hace que, a pesar de encontrarse alejada del foco de calor, la barra se dilate. Al igual que sucede con el termómetro de mercurio, la dilatación del metal se utiliza de manera secundaria como medida de la temperatura.



Johann Joostem Van Musschenbroek

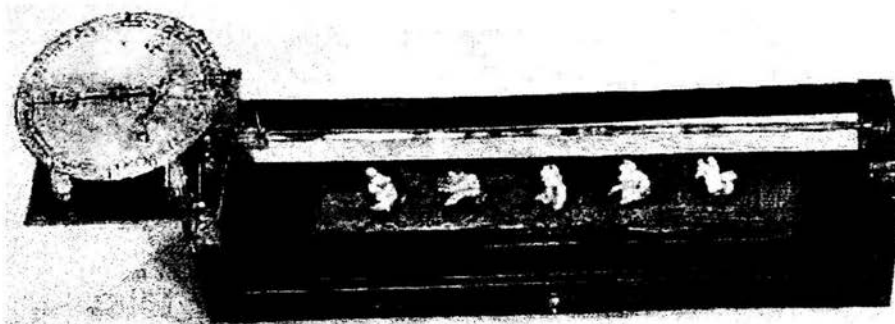
(1692 – 1761)

Nació en Leiden Holanda en 1692. Musschenbrock pertenecía a una familia de constructores de instrumentos establecidos en Leiden. Estudió en la Universidad de Leiden y en 1715 recibió su doctorado en medicina. En 1719, recibió su doctorado en filosofía, y aceptó una plaza como maestro en matemáticas y filosofía en Duisburg, donde en 1721, fue un extraordinario profesor de medicina.

En 1724, se casó con Adriana van de Water. Y de 1723 a 1740, ocupó la cátedra de filosofía natural y matemáticas en Utrecht, y en 1732, la de astronomía. Y en 1738, se casó con Helena Alstorpius.

A finales de 1739, aceptó un puesto en Leiden, donde dio clases de 1740 hasta su muerte. Musschenbroek, diseñó muchos de sus experimentos, consultando los registros de otros experimentadores, entre los cuales estaban aquellos de la Academia del Cimento. Muchos de sus experimentos, fueron clásicos en la instrucción elemental.

Uno de los más conocidos fue el pirómetro (nombre propuesto por el mismo Musschenbroek), descrito en un trabajo realizado en 1731; el cual consistía de una barra horizontal de metal fija en uno de sus extremos y conectado al otro extremo con un disco medidor, el cual mostraba la expansión de la barra cuando era calentada. Originalmente se utilizaba sin un termómetro, el cual fue incluido hasta 1762.



Pirómetro realizado según un modelo de Petrus van Musschenbroek, físico holandés (1692-1761). La aguja es accionada por la dilatación de la varilla por efecto del calor.

Desde los tiempos más antiguos las ideas acerca de la combustión han procedido de una detallada observación del fuego. Según las antiguas concepciones griegas, todo lo que puede arder contiene dentro de sí el elemento fuego, que se libera bajo condiciones apropiadas.

Las nociones alquímicas eran semejantes, salvo que se concebían los combustibles como algo que contenía el principio de "azufre" (no necesariamente el azufre real).



George Ernest Stahl
(1660-1734)

Médico alemán y químico que desarrollo la teoría del flogisto sobre la combustión y procesos biológicos relacionados como la respiración, fermentación y descomposición. Nació en 1660 en Ansbach, Franconia. Estudió medicina en Jena, Turingia. En 1687 fue nombrado médico de la corte por Johann Ernst, duque de Sachsen-Weimar.

Por 20 años Stahl trabajó en la escuela de medicina de la Universidad de Halle. Stahl enseñó medicina teórica, fisiología, patología, dietética, farmacología y botánica. En 1716 Stahl fue llamado a Berlín por Federico Guillermo I, rey de Prusia. Stahl unió dos eras con su teoría del flogisto. Fue la primera explicación sistemática pero sin los conceptos de átomo o elemento. Stahl construyó una teoría práctica que clarificó conceptos químicos fundamentales. Murió en 1734.

En 1702, Stahl desarrolló la teoría del flogisto para poder explicar la combustión. El flogisto o principio inflamable, descendiente directo del "azufre" de los alquimistas y más remoto del antiguo elemento "fuego" era una sustancia imponderable, misteriosa, que formaba parte de los cuerpos combustibles. Cuanto más flogisto tuviese un cuerpo, mejor combustible era.

Los procesos de combustión suponían la pérdida del mismo en el aire. Lo que quedaba tras la combustión no tenía flogisto y, por tanto, no podía seguir ardiendo. El aire era indispensable para la combustión, pero con carácter de mero auxiliar mecánico.

Las reacciones de calcinación de los metales se interpretaban a la luz de esta teoría del siguiente modo: el metal, al calentarse perdía flogisto y se transformaba en su cal. Es precisamente aquí donde falla la teoría del flogisto. ¿Cómo la cal es más pesada que el metal correspondiente, pese a que éste ha perdido flogisto? Este problema sin resolver no era tan serio en el siglo XVIII como nos parece hoy a nosotros. Mientras la teoría del flogisto explicase los cambios de aspecto y las propiedades, cabía ignorar las variaciones en la masa.



Antoine Laurent Lavoisier

(1743 – 1794)

Antoine-Laurent Lavoisier nació en 1743, hijo de una familia acomodada de París. Su padre fue un abogado, quien se había casado con una hija de la acaudalada familia Punctis. Luis XV era el rey de Francia. Gran parte de Europa, y especialmente Francia, se encontraba en una confusión social. Los campesinos enfrentaban continuas hambrunas, revueltas y turbas violentas que eran muy comunes.

Lavoisier se licenció en derecho, pero nunca practicó como abogado. A los 21 años, comenzó a llevar a cabo su propio sueño — estudiar matemáticas y ciencia. Estudió astronomía, botánica y geología con eminentes científicos de la época. Su trabajo en geología y su ensayo ganador sobre el mejor modo de iluminación de las calles de una gran ciudad en la noche, le valieron una membresía electa a los 25 años en la prestigiosa Academia de las Ciencias de París.

En 1768, Priestley trajo a la Ferme Générale, una compañía privada que cobraba impuestos para la Corona. Los propietarios los llamaban, los campesinos de impuestos, a los cuales se les otorgó el derecho de recaudar los impuestos de todo tipo, pero especialmente aquellos por servicios de importación de bienes.

El sistema era sencillo y con frecuencia explotado por los cobradores quienes se enriquecían. Ellos fueron el objetivo del odio popular entre los campesinos y los comerciantes. Las evidencias sugieren que Lavoisier desempeñó sus labores de manera honesta y sin corrupción. Lavoisier justificó su presencia en la Ferme, argumentando que acumulaba dinero para la investigación de la ciencia.

En 1771, Lavoisier se casó con Marie-Anne Pierette Paulze, hija de un co-propietario de la Ferme. Madame Lavoisier dibujó los borradores de los aparatos y del laboratorio de Lavoisier, incluyendo todos los dibujos en su libro, *Traité élémentaire de chemie*. Ella desarrolló una mente científica y fue conocida por tomar parte activa en discusiones de escritos sobre el flogisto, y los resultados químicos de otros.

En el periodo de 1770 a 1790, la ciencia de la química experimentó tal revolución que tan fundamental que no había habido nada igual hasta entonces. El artífice de esta revolución fue — Antoine Lavoisier.

Lavoisier creía que el peso se conservaba en el curso de las reacciones químicas — incluso aquellos gases involucrados. Explicó la combustión (y la respiración) en términos de las reacciones químicas que involucraban un componente del aire al cual llamó oxígeno. Su oportunidad para desarrollar la revolución química llegó en 1775, cuando fue designado Comisionado de la Administración Real de pólvora y salitre. Como tal, pudo construir un laboratorio en el arsenal de París e hizo importantes enlaces con la comunidad científica de toda Europa. Uno de los primeros químicos que adoptó las teorías de Lavoisier fue Joseph Black quien las enseñó en sus clases en 1784.

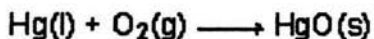
En 1774, Lavoisier estaba repitiendo los experimentos de la cal metálica de estaño hecho por Robert Boyle.

Boyle sabía que el estaño ganaba peso mientras la cal metálica se formaba. La doctrina del Flogisto explicaba que el flogisto era liberado sobre la formación de la sal metálica. Mientras los científicos modernos reconocieron la implicación de esto: el flogisto debería tener un peso negativo, los primeros flogistonistas (Becker, Stahl) no se les molestó mientras consideraron que el flogisto era un concepto filosófico.

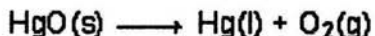
Más tarde flogistonistas como Priestley consideraron que el flogisto era una sustancia material (Cavendish creía que era su gas inflamable, ahora H₂) pero como la teoría explicaba muchos fenómenos químicos, ellos pudieron pasar por alto sus defectos. Pero no Lavoisier!

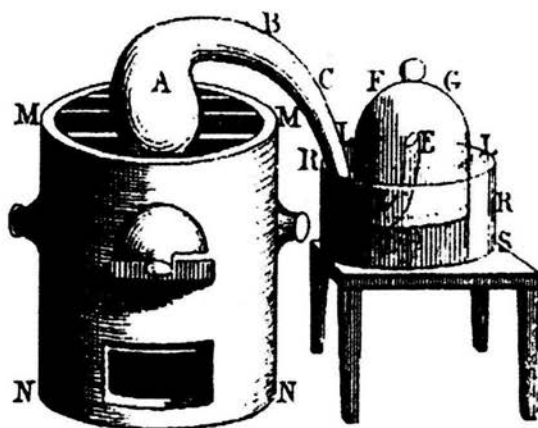
Lavoisier calentó estaño en aire en un recipiente cerrado. El estaño, aumentó en masa sobre el que se formaba la cal metálica [ahora SnO] y el aire entró violentamente en el recipiente mientras estaba abierto. Por las mismas fechas, en 1774, Priestley visitaba París y conoció a Lavoisier y le comentó en una cena sobre su descubrimiento del aire desflogisticado. Por casualidad, Lavoisier también recibió una carta de Scheele (en 1774) pidiéndole que repitiese uno de sus experimentos que produjeron [oxígeno]. En 1774, repitió el experimento de Priestley.

Por aquél entonces Lavoisier era declaradamente antiflogistonista. En 1777, Lavoisier condujo un experimento, que puso al descubierto un defecto fatal de la teoría del flogisto. Calentó mercurio y aire utilizando una campana por 12 días. La cal de mercurio roja (ahora HgO) se formaba y el volumen de aire disminuía de 50 a 42 in. Se determinó que el aire remanente era un componente del aire natural, y más tarde lo rebautizó como azote (ahora nitrógeno). El rojo [HgO] era calentado en una retorta, que producía 8 in de aire desflogisticado [O₂]. La secuencia de los experimentos estableció que el calor causaba la formación de una cal metálica (la doctrina del flogisto explicaba que el flogisto era liberado):



y entonces un calentamiento más fuerte revertía la cal metálica a las sustancias originales (lo cual predeciría la doctrina del flogisto, era imposible):





Dispositivo utilizado por Lavoisier para sus experimentos

La prueba de la validez de la teoría del oxígeno de Lavoisier, vino cuando Lavoisier (a) descompuso el agua en dos gases, a los cuales nombró hidrógeno y oxígeno, y entonces (b) los regeneró al agua como previamente lo había hecho Priestley (1781) y después hecho de manera cuantitativa por Cavendish.

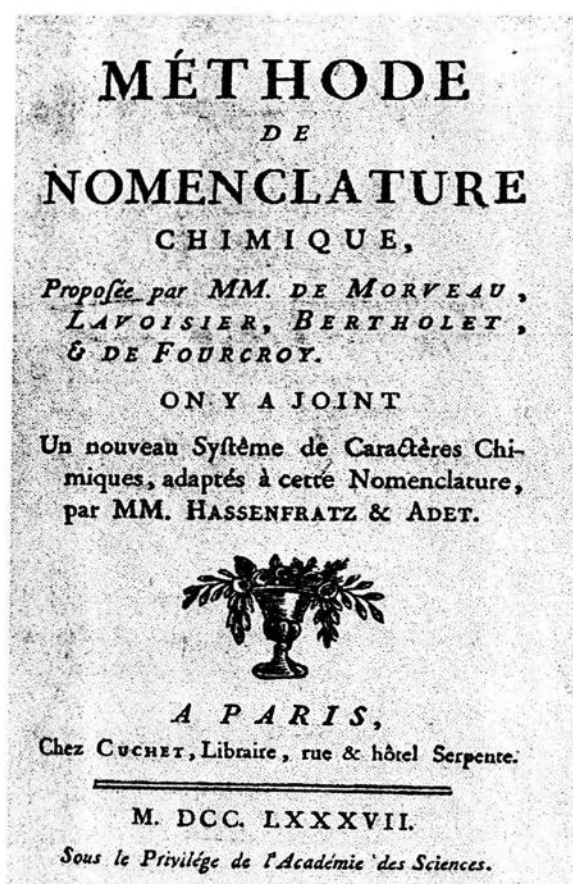
Para expandir sus ideas así como la teoría del oxígeno, Lavoisier publicó su *Traité élémentaire de chimie* en 1789. En su libro, Lavoisier nombró un total de 33 elementos, muchos de los cuales todavía están en uso hoy.

Lavoisier era un político liberal. A lo largo de los eventos que condujeron a la Revolución Francesa, Lavoisier contribuyó a los planes de reforma — incluyendo el establecimiento del sistema métrico. Después de la Revolución Francesa, Lavoisier fue un miembro de la Comisión para el Establecimiento del Sistema Métrico y fue designado Secretario del Tesoro en 1791.

Antoine-Laurent Lavoisier ya no descubrió nuevas sustancias. Realizó pocas mejoras en los métodos de laboratorio. Siempre será recordado como el padre de la química moderna.

Tomó los trabajos de otros, los más notables de Priestley, Black, Cavendish y Scheele, y los explicó.

A pesar de todas las contribuciones hechas a la ciencia, y a Francia por Lavoisier a sus 51 años de vida, fue su conexión con la Ferme Générale, la que los radicales revolucionarios notaron. En 1793, fue arrestado y encarcelado. Después de un juicio del jurado, Antoine-Laurent Lavoisier, fue encontrado culpable de conspiración contra el pueblo Francés. Fue guillotinado en 1794.



Portada de la obra donde Lavoisier propuso su nueva nomenclatura

TABLEAU DES SUBSTANCES SIMPLES

	Noms nouveaux.	Noms anciens correspondans
<i>Substances simples qui appartiennent aux trois règnes & qu'on peut regarder comme les élémens des corps.</i>	Lumière.....	Lumière. Chaleur. Principe de la chaleur. Fluide igné. Feu. Mélange du feu & de la chaleur
	Calorique.....	Air déphlogistique. Air empyréal.
	Oxygène.....	Air vital. Part de l'air vital.
	Azote.....	Gaz phlogistique. Mofete. Bafe de la mofete.
	Hydrogène.....	Gaz inflammable. Bafe du gaz inflammable.
	Soufre.....	Soufre.
	Phosphore.....	Phosphore.
	Carbone.....	Carbon pur
	Radical marinique.	Inconnu.
	Radical fluorique.	Inconnu.
<i>Substances simples non métalliques oxidables & acides.</i>	Antimoine.....	Antimoine
	Argent.....	Argent.
	Arsenic.....	Arsenic.
	Bismuth.....	Bismuth.
	Cobalt.....	Cobalt.
	Cuivre.....	Cuivre.
	Étain.....	Étain
	Fer.....	Fer.
	Manganèse.....	Manganèse.
	Mercur.....	Mercur.
<i>Substances simples métalliques oxidables & métalliques.</i>	Molybdène.....	Molybdène
	Nickel.....	Nickel.
	Or.....	Or.
	Platine.....	Platine.
	Plomb.....	Plomb.
	Tungstène.....	Tungstène.
	Zinc.....	Zinc.
	Chaux.....	Terre calcaire, chaux
	Magnésie.....	Magnésie, bafe du fel d'Épith.
	Baryle.....	Baryle, terre pesante.
<i>Substances simples métalliques non oxidables.</i>	Alumine.....	Argile, terre de l'Alun, bafe de l'Alun.
	Silice.....	Terre siliceuse, terre vitifiable.

El calor como elemento en la tabla de sustancias de Lavoisier

TRAITÉ
ÉLÉMENTAIRE
DE CHIMIE,
PRÉSENTÉ DANS UN ORDRE NOUVEAU
ET D'APRÈS LES DÉCOUVERTES MODERNES;

Avec Figures :

Par M. LAVOISIER, de l'Académie des
Sciences, de la Société Royale de Médecine, des
Sociétés d'Agriculture de Paris & d'Orléans, de
la Société Royale de Londres, de l'Institut de
Bologne, de la Société Helvétique de Basle, de
celles de Philadelphie, Harlem, Manchester,
Padoue, &c.

TOME PREMIER.



A PARIS,

Chez CUCHET, Libraire, rue & hôtel Serpente.

M. DCC. LXXXIX.

Sous le Privilège de l'Académie des Sciences & de la
Société Royale de Médecine.

Portada de la obra de Lavoisier "Tratado elemental de Química"

Paralelamente al estudio de los conceptos de temperatura y de calor se empezaron a desarrollar aplicaciones técnicas derivadas de la manipulación de la energía térmica.

A finales del s. XVII se empezó a utilizar el vapor de agua para mover las bombas de achique de las minas de carbón en Inglaterra. Las primeras máquinas fueron la bomba de Savery (1698) y la de Newcomen (1711).

La máquina de Savery consistía en un cilindro conectado mediante una cañería a la fuente de agua que se deseaba bombear, el cilindro se llenaba de vapor de agua, se cerraba la llave de ingreso y luego se enfriaba. Cuando el vapor se condensaba se producía un vacío que permitía el ascenso del agua.

En la máquina de Newcomen el vapor a presión atmosférica (sin recalentar) procedente de una caldera (alambique de cobre de cervecería) se metía en un cilindro y elevaba un émbolo.

El émbolo estaba conectado a un balancín. El balancín al quedar libre por el peso de las cuerdas y de los contrapesos accionaba la bomba de achique en la mina en un sentido, luego se cerraba la entrada de vapor y se inyectaba agua fría que ocasionaba un gran vacío en el cilindro. El pistón se movía y arrastraba el balancín en el otro sentido, con lo cual se elevaba el pistón de la bomba. El ciclo se repetía indefinidamente.

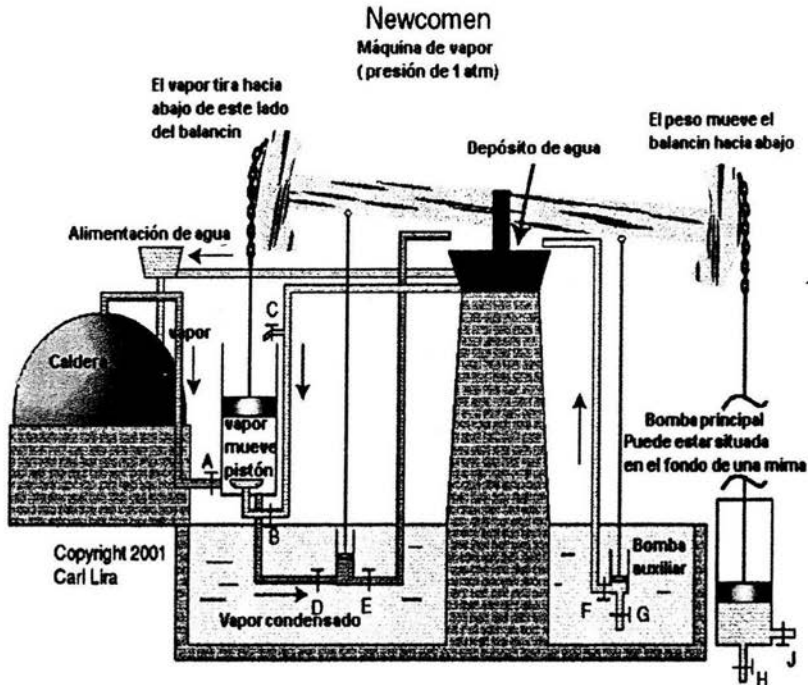
Esta conversión de energía térmica en energía mecánica, que daba 4 kW con un rendimiento del 1%, fue el fundamento de la Revolución Industrial y dio origen a una nueva ciencia: la Termodinámica, que estudia la transformación de calor (termo) en trabajo (dinámica).

Thomas Newcomen

(1663 – 1729)

Nació en Dartmouth Inglaterra. Se le reconoció como el inventor de la máquina de vapor. Descendía de una familia aristocrática. La primera máquina con la cual Newcomen tuvo éxito, fue construida a mediados de 1712. El creciente problema de extraer el agua de las minas de carbón estimuló a Newcomen para diseñar una máquina que sirviera como bomba.

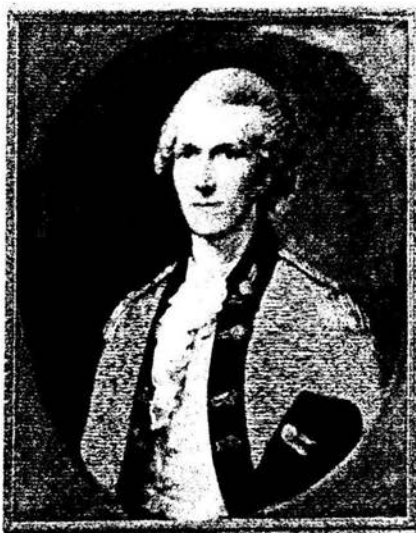
La máquina de Newcomen era una ingeniosa combinación de elementos: un pistón y un cilindro, bombas, elevadores, válvulas, y el proceso de producir baja presión por medio de la condensación de vapor en un recipiente. Murió en Londres, en 1729.



En 1765, el profesor de química escocés Joseph Black (Watt fue ayudante suyo) realizó un gran número de ensayos calorimétricos, distinguiendo claramente entre calor (cantidad de energía) y temperatura (nivel térmico). Introdujo los conceptos de calor específico y de calor latente de cambio de estado.

Uno de los experimentos de Black consistía en echar un bloque de hierro caliente en un baño de hielo y agua y observar que la temperatura no variaba. Desgraciadamente, sus experimentos eran a presión constante cuando se trataba de líquidos, y a volumen constante cuando eran gases, y el trabajo intercambiado por el sistema con el exterior era siempre despreciable, dando origen a la creencia errónea de que el calor se conservaba en los procesos térmicos: famosa y errónea teoría del calórico.

En 1798, B. Thompson (conde Rumford) rebatió la teoría del calórico de Black diciendo que se podía generar continuamente calor por fricción, en contra de lo afirmado por dicha teoría.



Benjamin Thompson, Conde Rumford
(1753-1814)

Nació en Woburn, Massachusetts, en 1753. El padre de Thompson, Benjamín Thompson, y su madre Ruth Simonds, eran granjeros en Nueva Inglaterra. Rumford tuvo muy poca educación formal, y comenzó a estudiar por su propia cuenta con la ayuda de algunos amigos y con el clérigo del lugar.

En 1766 fue aprendiz de encargado de almacén en Salem, en Nueva Inglaterra, y mientras estaba en ese empleo, se ocupó en realizar experimentos químicos y mecánicos, igualmente en trabajos de grabación en láminas, en la cual alcanzó algo de destreza. Al comenzar la guerra americana cesó sus actividades, y, entonces dejó Salem y fue a Boston, donde entró como asistente a otra tienda.

En 1776, parte para Inglaterra. A su llegada a Londres, fue designado administrativo del secretario de estado. En pocos meses llegó al puesto de secretario de la provincia de Georgia, y en cuatro años fue hecho sub-secretario de estado.

Sus obligaciones oficiales, no interfirieron con su búsqueda científica, y en 1779, fue electo miembro de la Sociedad Real. Entre las cosas que especialmente le llamaban la atención, eran: la fuerza explosiva de la pólvora, la construcción de armas de fuego, y un sistema de señalización en el mar.

Su primer estudio científico serio, fue el de determinar la posición óptima de orificio de salida del fuego en cañones, y la medición de la velocidad de tiro, como función de la composición de la pólvora. Las observaciones derivadas de esto, las escribió en un documento que publicó en 1781, lo cual le aseguró un lugar en la Real Sociedad de Londres.

En 1783, se unió al ejército Austriaco, y fue invitado al servicio del estado de Bavaria. Fue designado caballero por Jorge III., y durante once años, permaneció en Munich como ministro de guerra, y reorganizó al ejército de Bavaria.

En 1791, es designado Conde de Rumford. En 1797, durante sus investigaciones sobre el cañón, que se sorprendió por la gran cantidad de calor que se producía en los barriles de cañón por la explosión de la pólvora, incluso cuando no era lanzada ninguna bala. Esto lo condujo a aceptar la teoría vibratoria del calor, la cual defendió toda su vida. Su experimento más famoso en esta área, fue la demostración del proceso de perforado de un cilindro de un cañón, que llevó a cabo en el arsenal de Munich. Debido a que el calor generado en este proceso parecía ilimitado, razonó que un fluido calórico no existía. Llevó a cabo muchos otros experimentos, para demostrar por que no estaba de acuerdo con la teoría del calórico. Sin éxito intentó determinar si el calor tenía peso, pesó fluidos a diferentes temperaturas, que tenían diferentes calores específicos y diferentes calores de fusión. Estudió la expansión anómala del agua entre los 4 y 0° C, para demostrar que el concepto de que la expansión térmica era causada por que el fluido calórico tomando espacio, era falsa.

En 1798, presentó a la Sociedad Real su investigación con respecto a la fuente de calor por Fricción, en la que combatió la idea de que el calor era una sustancia material, y que el lo veía como una forma de movimiento. Vivió en Londres hasta 1804, y después se estableció en Auteuil, Francia.

Nunca relacionó la conexión entre calor y energía, aunque realizó experimentos para demostrar la interdifusión espontánea de líquidos de diferentes densidades a temperatura constante, y postuló que los fluidos están en un rango constante de movimiento.

En un esfuerzo de economizar en el establecimiento militar, realizó cuidadosos estudios de las propiedades aislantes de la ropa y de pieles de animales, mostrando que la principal pérdida de calor era por convección, y si se evitaban las corrientes de convección más aislamiento se podía conseguir. También demostró que el calor fluye con mucha dificultad a través del vacío.

Para incrementar la eficiencia de los dispositivos de cocción, estudió las propiedades aislantes de los sólidos e inventó el concepto de confinar un fuego en una caja aislada, diseñando lo que ahora se conoce como grado de cocción. Su interés en la eficiencia de transferencia de calor, lo llevó a diseñar un boiler doble y teteras especiales y sartenes para utilizar en sus estufas.

Sus estudios de corrientes de convección lo llevaron a diseñar un rostizador para carne y un calorímetro para medir calores de combustión de varios combustibles para utilizar en sus estufas.

También estableció un equipo para medir las propiedades fundamentales de la radiación de calor y demostró que las superficies opacas irradian mejor el calor que las superficies brillantes. Sus estudios, le permitieron diseñar cuartos calientes con bordes cuadrados y lados posteriores para añadir más calor dentro del cuarto. Los estudios de Thompson, del flujo de fluidos calentados, le permitieron diseñar sistemas de calentamiento de vapor con la separación de vapor y agua. Murió en Auteuil, Francia, en 1814.

En el siglo XVIII el concepto de "fluidos sutiles", era un cómodo cajón de sastre del que sacar a voluntad las piezas necesarias para explicar determinadas propiedades.

Una de esas piezas era el *calórico*, fluido misterioso que serviría para explicar los intercambios energéticos en forma de calor entre los cuerpos. Éste se uniría a otros fluidos análogos como, por ejemplo, el flogisto, los fluidos eléctricos o el éter.

Tras la termometría, el siguiente concepto fundamental de la teoría del calor es el de capacidad calorífica.

En un principio se creía que la cantidad de calor que un cuerpo podía "acumular" en un determinado periodo de tiempo dependía de su masa y de su volumen. Sin embargo, diferentes experiencias pusieron de manifiesto que esto no era así, sino que existía una nueva constante característica de los cuerpos que estaba relacionada con la capacidad acumulativa de calor de los cuerpos. Esta propiedad era el calor específico.

La idea de calor específico la utilizó por primera vez el profesor de la universidad de Glasgow Joseph Black (1728-1799) en 1760.

Además de hacer importantes descubrimientos en la química de los gases, en su obra define también el calor latente para medir el calor necesario para producir cambios de estado en sustancias sin variar la temperatura.

Precisamente podemos considerar las aportaciones de Black como el comienzo de la calorimetría como ciencia.



Joseph Black
(1728 – 1799)

Notable por su trabajo fundamental sobre calores latentes y específicos y por su descubrimiento del dióxido de carbono.

Joseph Black nació en Burdeos en 1728. Su padre fue John Black, un importador de vinos de Ulster de descendientes escoceses establecidos en Burdeos, y su madre Margaret Black, de Aberdeenshire (también miembro de una familia de importadores de vino). Cuando tenía doce años, Joseph fue enviado a la escuela a Belfast a aprender latín y griego, y a los 16, ingreso a la Universidad de Glasgow en 1744 para estudiar artes. Cuatro años después, su padre lo persuadió de estudiar algo más útil, así que escogió medicina. El profesor de medicina en Glasgow en aquel tiempo era William Cullen quién, el año anterior (1747), instituyó las primeras ponencias en química.

Black se mudó a Edimburgo en 1752 para complementar sus estudios de medicina, pero regresó a Glasgow en 1756 como profesor de anatomía, botánica, y como ponente en química, cuando William Cullen fue designado profesor de medicina en Edimburgo.

El siguiente año, Black fue designado profesor de medicina en Glasgow, en donde permaneció hasta 1766 cuando sucedió a Cullen en el puesto de química y medicina en Edimburgo.

Es durante sus primeros años en Glasgow (1750-52) en los cuales parece Black comenzó su trabajo sobre la química de la "magnesia" (un carbonato básico de magnesio), el cual presentó como tesis para su doctorado en Edimburgo, e incluye el descubrimiento de lo que hoy llamamos dióxido de carbono al cual llamo "aire fijo". Estos experimentos involucraban las primeras mediciones (de peso) gravimétricas cuidadosamente realizadas sobre los cambios que se presentaban cuando se calentaba la magnesia (con liberación de CO_2) y haciendo reaccionar los productos con ácidos o álcalis. Esto presagió el trabajo de Lavoisier, y se preparó el terreno para la fundación de la química moderna.

De regreso a Glasgow como profesor en 1756, Black conoció a James Watt (entonces "constructor de instrumentos matemáticos para la Universidad", y esto parece haber estimulado la siguiente fase de su trabajo incluyendo el concepto de calor latente, y los primeros pasos en calorimetría. Aquí, otra vez, fueron los aspectos cuantitativos de su trabajo lo que lo condujo a sus descubrimientos, particularmente en la medición cuidadosa del calor. Realizó experimentos sobre congelación y ebullición del agua y también con mezclas de alcohol/agua, que condujo al concepto de calor latente de fusión. Hizo un trabajo similar estableciendo la idea de los calores latentes de vaporización, lo cual condujo al concepto general de capacidad calorífica o calor específico; que fueron conceptos que probaron ser invaluable para James Watt, quien utilizó esta información para mejorar la máquina de vapor.

Black estableció por primera vez que un gas se podía combinar con un sólido, lo cual se creía que era imposible.

Black, reconoció que existían varios tipos de aires (el aire había sido considerado un elemento) "el aire fijo", era una entidad química determinada, diferente del aire. Esto cambió completamente la comprensión de la naturaleza química de los gases y fue el comienzo en la era de la química neumática.

Black, explicó sus observaciones sin referirse a la teoría del flogisto. Esto impresionó a Lavoisier ya que le dio una pista muy importante con la cual formuló su teoría del oxígeno.

Murió en Edinburgo, en 1799.

El Calor Sensible, es la energía que recibe un cuerpo sin cambiar su estado físico, mientras cambia su temperatura.

El calor sensible se puede calcular por:

$$Q_S = (\Delta H) L = L C_{p_{medio}} (T_1 - T_2)$$

En donde $C_{p_{medio}}$ es la capacidad calorífica media a presión constante, que se define como la cantidad de calor requerida para aumentar en un grado la temperatura de la unidad de masa de un cuerpo a presión constante. Si el proceso se efectuara a volumen constante entonces el calor sensible sería:

$$Q_S = \Delta U L = L C_V (T_1 - T_2)$$

En donde C_V es la capacidad calorífica a volumen constante.

Las capacidades caloríficas son propiedades de las sustancias y del estado físico en que se encuentren.

El Calor Latente, es la energía que recibe un cuerpo cambiando su estado físico. Este cambio se realiza a temperatura constante.

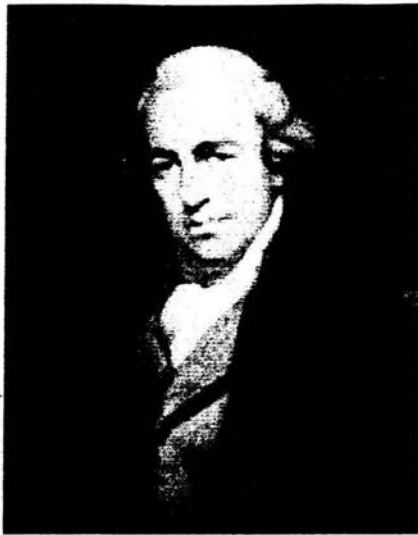
El calor latente se puede calcular por:

$$Q_\lambda = (\Delta H) L = L \lambda$$

En donde λ es el calor latente del cambio de estado de la sustancia en cuestión. Los calores latentes varían con el estado físico y con la presión.

Paralelamente se empezaron a desarrollar aplicaciones técnicas de la energía térmica. A finales del s. XVII se empezó a utilizar el vapor de agua para mover las bombas de achique de las minas de carbón en Inglaterra.

Las primeras máquinas fueron la bomba de Savery (1698) y la de Newcomen (1711); en esta última, el vapor a presión prácticamente atmosférica procedente de una caldera (alambique de cobre de cervecería) se metía en un cilindro y elevaba un émbolo que por medio de un balancín accionaba la bomba en un sentido, luego se cerraba la entrada de vapor y se inyectaba agua fría que ocasionaba un gran vacío en el cilindro y movía el émbolo en el otro sentido, volviendo a repetirse el ciclo. Esta conversión de energía térmica en energía mecánica, que daba 4 kW con un rendimiento del 1%, fue el fundamento de la Revolución Industrial y dio origen a una nueva ciencia: la Termodinámica, que estudiaba la transformación de calor (termo) en trabajo (dinámica). Durante el s. XVIII se asentaron las bases para la utilización de las máquinas de vapor para mover maquinaria industrial y en el transporte marítimo (barcos) y terrestre (locomotoras). En 1769 Watt ideó la separación entre el expansor y el condensador y a partir de entonces se empezó la fabricación a nivel industrial.



James Watt
(1736 – 1819)

Nació en 1736, en Greenock, Escocia. Su padre era tesorero y magistrado del pueblo, además comerciante, dueño de barcos, armador y constructor de casas. Aunque James fue a la primaria de Greenock, se instruyó valiosamente en los talleres de su padre quien le proporcionó su banco y herramientas de trabajo al notar el interés y las facultades del muchacho por la mecánica.

A los 17 años, quería ser fabricante de instrumentos matemáticos para lo que se trasladó a Glasgow a trabajar con un especialista y en 1755 a Londres, donde estudió por espacio de dos años. Al regresar en 1757, instaló en la Universidad de Glasgow un taller para la fabricación, reparación y venta de instrumentos matemáticos.

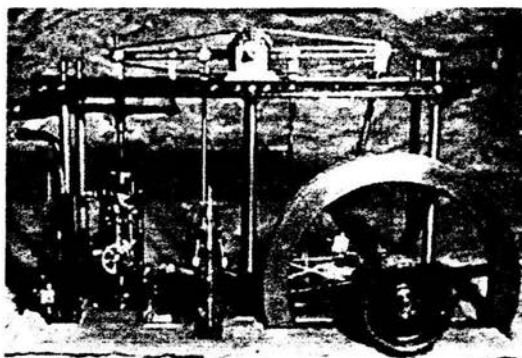
Muy interesado en las máquinas de vapor, inventadas por Thomas Savery y Thomas Newcomen, determinó las propiedades del vapor, en especial la relación de su densidad con la temperatura y la presión. Al reparar Watt la máquina de vapor de Newcomen, notó la merma en su rendimiento por la cantidad de vapor que desperdiciaba y buscó la manera de evitar el continuo calentarse y enfriarse del cilindro de pistones, halló la solución en 1765.

Diseñó una cámara de condensación independiente para la máquina de vapor que evitaba las enormes pérdidas de vapor en el cilindro e intensificaba las condiciones de vacío. Este fue el primero y más importante de los inventos de Watt.

Con un préstamo de su amigo el científico Joseph Black y en sociedad con John Roebuck, Watt construyó en 1768 el primer modelo de prueba de lo que un año más tarde patentaría como "Método para disminuir el consumo de vapor y de combustible en máquinas de calor". Este modelo contenía junto con la cámara de condensación, otras mejoras de la máquina de Newcomen, como la camisa de vapor, el engrase de aceite y el aislamiento del cilindro con el fin de mantener las altas temperaturas necesarias para una máxima eficacia. Con esta cámara de condensación, las máquinas de vapor ahorraban un 75 % en los costos de combustible.

Fue socio del inventor británico John Roebuck, que financió sus investigaciones. En 1775 comenzaron a fabricar máquinas de vapor y continuó con las investigaciones que le permitieron patentar otros importantes inventos, como el motor rotativo para impulsar varios tipos de maquinaria; el motor de doble efecto, en el que el vapor puede distribuirse a uno y otro lado del cilindro, y el indicador de vapor que registra la presión de vapor del motor. Se retiró de la empresa en 1800 para dedicarse por completo al trabajo de investigación. Diseñó un regulador centrífugo o de bolas que inventó en 1788, una máquina copiadora para oficina, un pantógrafo para reproducir escrituras.

Además, la unidad eléctrica vatio (watt) recibió el nombre en su honor. En 1767 inventó un accesorio para adaptarlo a los telescopios que se utilizaba en la medición de distancias. En 1785, Watt fue nombrado miembro de la Royal Society de Londres, en 1806, la Universidad de Glasgow le nombró doctor honoris causa. En 1814, fue nombrado miembro de la Academia francesa de Ciencias. Falleció en 1819 en Heathfield, Inglaterra.



Máquina de Vapor de Watt

La teoría matemática del calor y su transmisión sería una conquista del siglo XIX, al desarrollarse la termodinámica. Sin embargo, no debemos olvidar el formidable ingenio del siglo XVIII, que aportó la máquina de vapor.

CAPITULO III

SIGLO XIX



Jean Baptiste Joseph Fourier

(1768-1830)

Nació en Auxerre, Francia en 1768. Sus primeros estudios los realizó en la escuela Pallais. En 1780, ingresó en la *École Royale Militaire de Auxerre*.

En 1787 Fourier decidió ingresar como seminarista e ingresó en la abadía Benedictina de St Benoit-sur-Loire, con la esperanza de que posteriormente pudiera continuar con sus estudios en matemáticas en el seminario de París. La Revolución francesa interfirió con sus planes, pero después, en 1790, fue maestro en el colegio Benedictino, *École Royale Militaire de Auxerre*, donde había estudiado.

Más tarde, ingresó en la facultad en la *Ecole Normale* en Paris en el año de su fundación (1795). Su éxito como maestro, lo llevó a conseguir el puesto de Análisis en la *Ecole Polytechnique* y en 1807, fue hecho miembro de la Academia de las Ciencias.

En 1798, Fourier se unió al ejército de Napoleón en su invasión a Egipto como asesor científico. En particular, ayudó a establecer la educación en Egipto y llevó a cabo exploraciones arqueológicas.

Mientras estaba en el Cairo, Fourier ayudó a fundar el Instituto del Cairo. Fourier fue electo secretario del Instituto, posición que mantuvo durante la ocupación francesa.

Fourier también fue el encargado de coleccionar los descubrimientos científicos y literarios hechos durante el tiempo en Egipto.

Regresó a Francia en 1801, y retomó su puesto de Profesor de Análisis en la École Polytechnique. Sin embargo, Napoleón lo envió a Grenoble, como Prefecto del departamento de Isère. Y fue durante su estancia en Grenoble, que Fourier realizó su importante trabajo matemático sobre la teoría del calor. Este lo comenzó alrededor de 1804 y en 1807, había completado su memoria *Sobre la Propagación del Calor en Cuerpos Sólidos*.

Publicó en 1822, su "*Théorie analytique de la chaleur*" dedicada a la teoría matemática de la conducción del calor. Estableció la ecuación diferencial parcial que gobierna la difusión del calor, la cual resolvió utilizando series infinitas de funciones trigonométricas.

En esta, introdujo la representación de una función como una serie de senos y cósenos conocidas como series de Fourier.

El trabajo de Fourier, impulsó el trabajo sobre series trigonométricas y la teoría de funciones de una variable real. Después de una larga y distinguida carrera, Fourier murió en París en 1830.

Ley de Fourier de la conducción.

Para que exista transmisión de calor por conducción se considera que el calor fluirá a través de un medio cuyas moléculas están fijas en sus posiciones, es decir un medio sólido. Este flujo de calor ocurrirá sólo si existe un salto térmico entre dos puntos del sólido.

La ley de Fourier es la ecuación fundamental para evaluar el calor transferido por conducción a *régimen estacionario*, y se describe como:

$$Q = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Esta ecuación también se conoce como *Primera Ley de Fourier*. En donde Q es el flujo de calor transmitido por unidad de tiempo en kcal/h ó W; A es el área de transferencia en m²; T es la temperatura °C ó °K, x es el espesor del cuerpo y k la conductividad térmica en kcal/hm°C, W/m°C

El flujo de calor transmitido por unidad de tiempo es proporcional al área y a la diferencia de temperaturas ΔT, que impulsa el calor a través de una pared de espesor ΔX.

k es la conductividad térmica que se determina de manera experimental y es propiedad de cada sustancia, varía con el estado físico del cuerpo, así como también con la temperatura.

La ecuación para el calor transferido por conducción a *régimen transitorio* es:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

Esta ecuación también se conoce como *Segunda Ley de Fourier*.

Si el transporte por conducción no se efectúa solamente en el eje x sino también en el z y y, entonces la ecuación a *régimen transitorio*, queda de la siguiente forma:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right]$$

Alexis Thérèse Petit

(1791-1820)

Nació en Vesoul, Francia en 1791. Ingresó a la École Polytechnique en 1807. Se le concedió un doctorado en 1811 por una tesis sobre la acción capilar. En 1818 ganó el premio de la academia para el trabajo sobre la ley de enfriamiento y, en el mismo año, publicó sobre los principios generales de la teoría de máquinas.

El año siguiente publicó un trabajo sobre la teoría del calor. Trabajando con Pierre Louis Dulong formuló, en 1819, una ley empírica referente al calor específico de elementos, "ley de Dulong-Petit". Esta ley tiene excepciones y no fue completamente comprendida hasta que fue utilizada la teoría cuántica. Murió en París, Francia en 1820.



Thomas Johann Seebeck
(1770-1831)

Thomas Johann Seebeck nació en Reval (ahora Tallin), capital de Estonia, en 1770. Su padre lo motivó a estudiar medicina la cual estudió en las Universidades de Berlín y Göttingen. Recibió su grado de medicina en 1802, pero ya que prefirió la investigación en física más que a la práctica de la medicina, se dedicó a esto último.

Después de su graduación, se unió a la facultad de la Universidad de Jena, donde trabajó con Goethe en la teoría del color y el efecto de la luz coloreada. Seebeck entonces se comprometió en investigaciones del espectro solar. Expuso los efectos del calentamiento sobre diferentes colores del espectro solar en 1806.

En 1808, obtuvo la primera combinación química de amoníaco con óxido mercúrico. Para 1812, estudió la polarización óptica en vidrio tensado, pero sus descubrimientos en esta área fueron hechos con anterioridad por Biot.

Seebeck regresó a la Universidad de Berlín alrededor de 1818, donde trabajó en la magnetización del hierro y del acero cuando pasaban corrientes eléctricas a través de conductores. En varios experimentos sobre la magnetización de varios metales, observó la reacción anómala del hierro calentado al rojo magnetizado.

Seebeck hizo investigaciones en fotoluminiscencia (la emisión luminiscente de algunos materiales excitados por la luz), los efectos térmicos y químicos de diferentes partes del espectro solar, polarización, y el carácter magnético de las corrientes eléctricas.

En 1820, Seebeck buscó experimentalmente una relación entre la electricidad y el calor. En 1821, unió dos cables de metales diferentes (cobre y bismuto) para formar un circuito.

Se formaron dos uniones conectando los extremos de los cables uno al otro. Descubrió accidentalmente que si calentaba una unión a alta temperatura, y la otra unión permanecía a temperatura baja, se observaba un campo magnético alrededor del circuito a diferentes temperaturas. No reconoció o reportó que una corriente eléctrica era generada cuando se aplicaba calor a una de las uniones de los dos metales. Utilizó el término corrientes termomagnéticas o termomagnetismo para expresar su descubrimiento. Durante los siguientes dos años, 1822-1823, reportó sobre sus observaciones a la Academia Prusiana de Ciencias, donde describió esta observación como "la polarización magnética de los metales y minerales producida por una diferencia de temperaturas."

A Seebeck se le acredita el descubrimiento del efecto termoeléctrico, pero utilizó su descubrimiento para concluir incorrectamente que el campo magnético de la tierra era producido por la diferencia de temperaturas entre los dos polos y el ecuador. Esta es la teoría de Seebeck – el gradiente de temperaturas causa la magnetización directa de los metales, y el metal recién magnetizado presenta un campo magnético alrededor que influencía una aguja magnética cercana, haciéndola desviarse – no hay una corriente involucrada del todo. Seebeck falló en explicar porque no se producía campo magnético alguno debido al gradiente de temperaturas, cuando el circuito estaba eléctricamente roto, por materiales que sin embargo son buenos conductores térmicos. Así, el punto de vista termoeléctrico prevaleció, y más tarde se confirmó, que una corriente eléctrica se producía de hecho por una diferencia de temperaturas entre las uniones de un circuito bimetálico cerrado.

Experimentó con diferentes metales, diferentes estructuras (formas) del mismo metal y encontró los efectos de las corrientes eléctricas, o, en su caso las desviaciones de su aguja magnética, cuando las uniones eran calentadas. Incluso encontró que las corrientes eléctricas fluían si una parte de un cable era martillada o retorcida, mientras la otra parte del mismo cable no fuera reconfigurado.

La corriente eléctrica fluía continuamente alrededor del circuito creado cuando dos alambres metálicos diferentes se unían por una unión soldada y entonces calentada.

Este continuo flujo de corriente con calor era diferente de la corriente voltaica, con la cual estaba familiarizado. El flujo de corriente, era formado en la unión soldada de dos metales, cuyas temperaturas diferían en la unión soldada.

De nueva cuenta experimentando, soldó una barra de antimonio a una barra bismuto y juntó sus extremos.

La aguja magnética se desviaba del bismuto al antimonio cuando se calentaba una unión soldada hecha por los dos metales. La aguja magnética se desviaba en la dirección contraria (antimonio a bismuto), cuando la unión soldada se enfriaba. Gracias a la observación se dio cuenta de que si los metales eran ordenados de acuerdo con sus contrastes químicos, se formaba una serie: antimonio, hierro, zinc, plata, oro, lead, mercurio, cobre, platino, y bismuto.

Entre más grande fuera el contraste térmico entre los metales, más grande era la fuerza electromotriz (FEM). El antimonio y el bismuto formaban la mejor unión para la FEM.

Seebeck también formó un circuito compuesto de conductores de cobre y bismuto (cables) en el cual sostuvo una unión de los metales en una mano, y observó que la aguja se desviaba por una diferencia de temperaturas de la unión metálica, causado por el calor de su mano. Experimentó enfriando una de las uniones metálicas, y observó el mismo efecto de una corriente eléctrica fluyendo en el circuito.

Al mismo tiempo, Seebeck mostró que el poder de multiplicación no aumentaba con el número de vueltas en el cable de unión de una bobina. La resistencia al paso de la corriente incrementaba con la longitud del cable utilizado, así la corriente conducente era reducida más bien proporcional al número de vueltas.

Además del impacto de la termoelectricidad, este efecto se utilizó en termocoples para medir la temperatura.

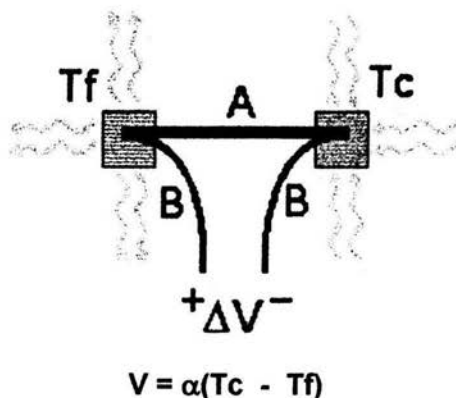
Seebeck ideó termocoples; utilizó termoelementos para medir la temperatura, construyó un polariscopio (dispositivo para medir la luz polarizada); estudió la radiación del calor, y el efecto rotativo de soluciones de azúcar sobre un plano polarizado de luz.

Fue miembro de la Academia de Ciencias de Berlín, y de la Academia Francesa de Ciencias en 1825. Thomas Seebeck murió en Berlín, Alemania en 1831.

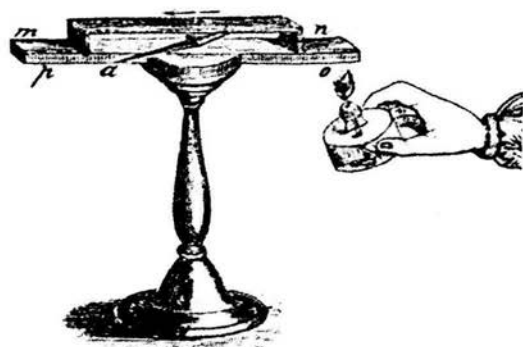
El efecto Seebeck

Una diferencia de temperaturas, produce un potencial eléctrico (voltaje), el cual puede conducir una corriente eléctrica en un circuito cerrado. Esto se conoce como el efecto Seebeck.

El voltaje producido es proporcional a la diferencia de temperatura entre las dos uniones de dos metales. La constante de proporcionalidad (α) se conoce como el Coeficiente Seebeck, y con frecuencia se le refiere como el potencial termoelectrónico o termopotencial. El voltaje Seebeck no depende de la distribución de temperatura a lo largo de los metales entre las uniones. Este es el fundamento físico para un termocople, el cual se utiliza con frecuencia para la medición de temperaturas.



La diferencia de voltaje, V , producida a través de las terminales de un circuito abierto hecho de un par de metales diferentes, A y B, cuyas dos uniones se mantienen a diferentes temperaturas, es directamente proporcional a la diferencia de temperaturas de las uniones caliente y fría.



Instrumento de Seebeck.



Sadi Carnot

(1796-1832)

Nació en el Palais du Petit-Luxembourg. En 1812, sus padres decidieron enviarlo a prepararse en el Lycée Charlemagne en París, y meses después ingresó en la École Polytechnique. Al terminar sus estudios en la École Polytechnique en 1814, fue enviado a la École du Génie et Metz, como estudiante segundo lugarteniente.

En 1816, terminó sus estudios y empezó a servir como segundo lugarteniente en el regimiento de ingeniería de Metz. En 1819, consideró una oportunidad de salir de Metz cuando acreditó un examen para ingresar al staff general de los cuerpos del ejército en París. En 1821, se concentró sobre los problemas de la máquina de vapor y comenzó a trabajar en su obra *Réflexions*.

Alrededor de 1823, escribió un manuscrito, el cual tituló "*Recherche d'une formule propre à représenter la Puissance motrice de la vapeur d'eau*". Este documento fue un intento de encontrar una expresión matemática para la potencia motriz, producida por un kilogramo de vapor.

En 1824, fue publicado su trabajo *Réflexions sur la Puissance Motrice du Feu* (*Reflexiones sobre la potencia motriz del fuego*), en donde desarrolló la teoría de las máquinas térmicas.

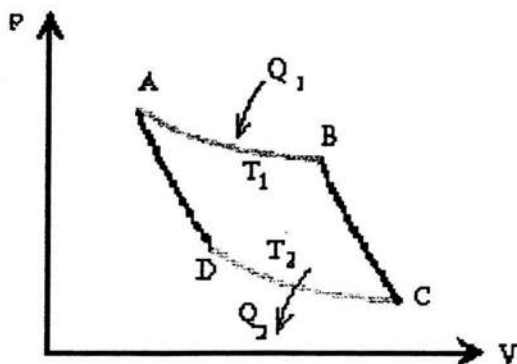
Propuso que el calor era generado por el paso del calórico de un cuerpo caliente a un cuerpo frío, con la conservación del mismo en el proceso. Carnot de manera cualitativa, propuso el ciclo de Carnot reversible, y descubrió que la eficiencia de una máquina térmica depende solo de las temperaturas de entrada y de salida.

Debido a la reorganización del staff general de los cuerpos del ejército, Carnot tuvo que regresar al servicio activo en 1827, con el rango de capitán. Después, y en menos de un año de servicio rutinario como ingeniero militar en Lyon y Auxonne, renunció de manera definitiva y regresó a París; en donde nuevamente enfocó su atención sobre los problemas de diseño de maquinas y la teoría del calor.

En 1831, Carnot comenzó a investigar las propiedades físicas de los gases y de los vapores, especialmente la relación entre la temperatura y la presión. En 1832, murió víctima de una epidemia de cólera.

Ciclo de Carnot

Se define como un proceso cíclico reversible que utiliza un gas perfecto, y que consta de dos transformaciones isotérmicas y dos adiabáticas, tal como se muestra en la figura.



Representación gráfica del ciclo de Carnot en un diagrama P-V

Tramo *A-B* expansión isotérmica a la temperatura T_1

Tramo *B-C* expansión adiabática ($Q = 0$)

Tramo *C-D* compresión isotérmica a la temperatura T_2

Tramo *D-A* compresión adiabática ($Q = 0$)

La eficiencia térmica del ciclo de Carnot es:

$$\eta = \frac{W}{Q_{abs}} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$



Pierre-Louis Dulong

(1785-1838)

Nació en Ruán, Francia en 1785. Fue profesor de física en 1820, y director de la Escuela Politécnica en 1830. En 1813 descubrió de forma accidental el tricloruro de nitrógeno, altamente explosivo. Los trabajos más importantes de Dulong en el campo de la física los llevó a cabo conjuntamente con Alexis Thérèse Petit, profesor de física de la Escuela Politécnica.

Sus experimentos sobre dilatación y medida de las temperaturas, transferencia del calor y calor específico de los gases, le condujeron a establecer la ley empírica sobre calores específicos conocida como "ley de Dulong y Petit" en 1819, que establece que, para muchos elementos sólidos a temperatura ambiente, el producto de la masa atómica relativa y la capacidad calorífica relativa es aproximadamente constante. Y esta ley posteriormente sería utilizada en la determinación de pesos atómicos.

Dulong concluyó en 1829 que, bajo las mismas condiciones de temperatura y presión, volúmenes iguales de todos los gases emiten o absorben la misma cantidad de calor cuando se expanden o comprimen repentinamente a la misma fracción de sus volúmenes originales.

También dedujo que los cambios de temperatura que se verifican son inversamente proporcionales a las capacidades caloríficas de los gases a volumen constante. Murió en París en 1838.

Ley de Dulong y Petit

Las capacidades caloríficas molares medias (a volumen constante) de todos los metales, con excepción de los muy ligeros, es aproximadamente la misma e igual a 24.94 J/mol^oK.

$$\text{Energía por mol} = 3KT_N$$

K = Constante de Boltzmann
T = Temperatura en kelvins
N = Número de Avogadro

$$C_V = \frac{\partial}{\partial T}(3KT_N) = 3KN/mol = 24.94 \text{ J/mol}$$



Jean Claude Eugene Peclet

(1793-1857)

Nació en Besancon, Francia en 1793. Jean Claude Eugene Peclet fue de los primeros alumnos de la Ecole Normale de Paris. Fue electo profesor en el College de Marseille en 1816, enseñando ciencias físicas ahí hasta 1827. Regresó a Paris cuando fue nominado Maitre de Conferences en la Ecole Normale y fue electo profesor en la Ecole Centrale des Arts et Manufactures.

Las publicaciones de Pécelet fueron famosas por su claridad de estilo, objetividad y experimentos bien desarrollados. Su más famoso libro *Traité de la Chaleur et de Ses Applications aux Arts et aux Manufactures* (Paris 1829), fue distribuido en todo el mundo y traducido al alemán.

Se retiró en 1852 para dedicarse exclusivamente a la enseñanza y a continuar con sus conferencias hasta su muerte en París en 1857.

En honor de Péclet, fue designado el número de Péclet, que es un número adimensional que relaciona la transferencia de calor por convección forzada de un sistema con la transferencia de calor por conducción.

$$Pe = \frac{D V \rho C_p}{k}$$

En donde D es el diámetro interior del tubo(m); V es la velocidad (m/s); ρ es la densidad (Kg/m^3); C_p es el calor específico($Kcal/Kg^{\circ}C$) y k es la conductividad térmica($Kcal/Kg^{\circ}C$).



Jean-Baptiste Biot

(1774-1862)

Nació en París en 1774, fue educado en el colegio de Louis-le-grand en París. Alrededor de 1791, dejó la escuela y tomó clases privadas de matemáticas.

En 1792, se enlistó en el ejército, para participar en las guerras revolucionarias, y después fue aceptado para ingresar en la École des Pontes et Chaussées en 1794. Pero poco después, en el mismo año se fundó la École Polytechnique a la cual ingresó.

Al graduarse de la École Polytechnique en 1797, fue designado profesor de Matemáticas en la École Centrale en Beauvais. Tres años después, fue profesor de físico matemáticas en el Collège de France.

En 1803 Biot, fue elegido para la primera clase del Instituto. Tres años después, fue con Arago a España para completar un trabajo anterior para calcular la medida del arco de meridiano; y también con Arago colaboró en el estudio de las propiedades refractivas de los gases.

En 1804, Biot realizó una investigación experimental de la conductividad de una barra de metal manteniendo un extremo de la misma a una alta temperatura conocida, y tomando lecturas de termómetros ubicados en orificios hechos a lo largo de la barra. Pudo reportar que la temperatura en estado estacionario disminuía exponencialmente a lo largo de la barra. Vio que esto se podría explicar en términos de un balance de pérdida de calor en la superficie y área transversales.

Desafortunadamente, no pudo presentar la ecuación diferencial correspondiente a su modelo físico debido a su inexperiencia para encontrar razones físicas plausibles para dividir una segunda diferencia de temperaturas por el cuadrado del elemento infinitésimo de longitud. Por tanto no pudo convertir esta segunda diferencia en una segunda derivada. Esto sería conseguido por Fourier. En 1809 Biot fue designado profesor de Astronomía en la Facultad de Ciencias.

En 1813, Biot intentó derivar una formula general para la expansión de líquidos, y en 1815, realizó una revisión crítica de la ley de enfriamiento de Newton. Un amigo de Biot Delaroche ya había mostrado que a altas temperaturas las perdidas de calor eran más grandes que la simple proporcionalidad sugerida por Newton.

Biot propuso la ecuación:

$$t = aT + bT^3$$

donde t representa la pérdida de calor, T es la diferencia en temperatura entre el cuerpo caliente y sus alrededores, y a y b son constantes. Considerando el trabajo de Biot sobre el calor, es conveniente mencionar dos contribuciones posteriores. Biot propuso una formula general para la presión, p , de un vapor saturado:

$$\log p = a + b\alpha^\theta + c\beta^\theta$$

donde a , b , c , α y β están determinadas por cinco experimentos y θ es la temperatura medida desde un cero conveniente, tal como la temperatura más baja en los cinco experimentos utilizada para determinar las constantes.

Biot también derivó una fórmula que relaciona la intensidad de la radiación solar con el espesor de la atmósfera. Si I es la intensidad de la radiación de un rayo incidente e I' es la intensidad de la radiación transmitida a través de un espesor, t , de un medio cuyo coeficiente de absorción es k , entonces:

$$I' = I e^{-kt}$$

De 1816 a 1826, mientras conservaba el título de profesor de astronomía, aceptó enseñar física relacionada con su propia investigación y dio cursos sobre luz, sonido, y magnetismo. Biot estudió un amplio rango de tópicos matemáticos, muchos en matemáticas aplicadas. Realizó avances en Astronomía, elasticidad, electricidad y magnetismo, calor y óptica, en matemáticas puras, también hizo importantes trabajos en geometría.

Biot, al igual que Savart, descubrió que la intensidad del campo magnético establecido por una corriente que fluye a través de un cable, varía inversamente con la distancia desde el cable. Esto es conocido ahora como "ley de Biot-Savart", la cual es fundamental para la moderna teoría electromagnética.

Dentro de sus trabajos se encuentra uno sobre la polarización de la luz que pasa a través de soluciones químicas. Otro trabajo importante fue *Memoire sur la figure de la terre* (1827), el cual describe la forma de la tierra.

Biot también mostró que el cambio en la polarización encontrada en la luz que pasa a través de los materiales era una rotación, y demostró que muchas soluciones orgánicas líquidas exhibían esta actividad óptica. Murió en París en 1862.

En honor de Biot, fue designado el número de Biot, que es un número adimensional que relaciona la resistencia térmica del sólido y la resistencia térmica del fluido en la transferencia de calor por conducción.

$$Bi = \frac{h}{k}$$

En donde h es el coeficiente de transferencia de calor por convección (Kcal/Kg°C); y k es la conductividad térmica (Kcal/Kg°C).



Benoite-Pierre Émile Clapeyron

(1799 - 1864)

Nació en París Francia en 1799. Ingresó en la École Polytechnique en 1816, de la que salió dos años después para ingresar la École des Mines. En 1820 marchó a Rusia donde dirigió varias obras públicas y ocupó la cátedra de matemáticas puras y aplicadas de la Escuela de Trabajos Públicos de San Petersburgo.

De regreso a Francia (1830) se dedicó a la construcción de varios ferrocarriles, entre ellos el de París a Saint Germain y de París a Versailles (orilla derecha). Fue admitido en la Academia de Ciencias en 1858.

Clapeyron, tuvo un interés continuo en la teoría y en el diseño de maquinas de vapor a lo largo de su carrera. Su más importante trabajo de investigación tiene que ver con la regulación de válvulas en una máquina de vapor. En 1844, fue profesor en la École des ponts et chussées, donde dio el curso sobre la máquina de vapor.

Clapeyron es mejor conocido por su relación entre el coeficiente de temperatura de la presión de vapor al equilibrio sobre un líquido o un sólido y el calor de vaporización. Esta fue una aplicación del principio de Sadi Carnot, como lo desarrolló Carnot en su memoria *Réflexions sur la puissance motrice du feu* (1824).

En 1834, Clapeyron publicó un documento que fue una exposición detallada de las *Réflexions*. En este transformó el análisis verbal de Carnot en el simbolismo del cálculo. Murió en París en 1864.

Clapeyron junto con Clausius obtuvo una ecuación (ecuación de Clausius-Clapeyron), que se utiliza para estimar las presiones de vapor de sólidos y líquidos puros.

$$\frac{d \ln P}{dT} = \frac{\Delta H_{\text{vap}}}{RT^2}$$

Donde P es la presión de vapor, ΔH es la entalpía de vaporización si la sustancia es líquida, y si es sólida es la entalpía de sublimación (Kcal/Kgmol), R es la constante de los gases, y T es la temperatura (°K).



William John Macquorn Rankine

(1820-1872)

Nació en Edimburgo, Escocia en 1820. Debido a su pobre salud, Rankine recibió gran parte de su educación básica en su casa, siendo al principio educado por su padre y después por tutores privados. En 1836, ingresó en la Universidad de Edimburgo, donde estudio filosofía natural. A pesar de ser buen estudiante, dejó Edimburgo en 1838 sin un grado.

Entonces fue a Irlanda y trabajo por cuatro años en construcción de rieles, en hidráulica, y varios otros proyectos como aprendiz. Después Rankine regresó a Escocia y ejerció la ingeniería civil.

En 1849, comenzó a publicar documentos sobre física entre ellos uno sobre la teoría de la materia, a la cual llamó "hipótesis de los vortices moleculares". En esta, la materia estaba compuesta por átomos, cada uno compuesto de una atmósfera rodeada de un pequeño núcleo. Las atmósferas consistían de innumerables vortices, o corrientes circulantes, de materia que era elástica y que tendía a aumentar su volumen de manera automática. La temperatura absoluta de un átomo era proporcional al cuadrado de la velocidad vortical como lo definió Rankine.

Fue en la teoría del calor que Rankine aplicó su hipótesis de los vórtices moleculares de manera extensiva y exitosa. Su interés en el calor y en las máquinas térmicas se debió a que trabajó en los ferrocarriles.

También en el mismo año, publicó fórmulas preliminares que relacionaban la presión de saturación de un vapor con su temperatura, y después, en 1850, publicó su teoría basada en los vórtices moleculares.

Entre las varias fórmulas que derivó estaban las relaciones para la presión, densidad, y temperatura de los gases, vapores, y el calor latente de evaporación de un líquido. También obtuvo expresiones teóricas para los calores específicos reales y aparentes de gases y vapores.

Entre sus conclusiones estaba la predicción de que el calor específico aparente del vapor saturado debía tener un valor negativo. Esta conclusión fue después confirmada experimentalmente.

En 1850, fue elegido miembro de la Sociedad Real de Edimburgo, Rankine comenzó a trabajar en ingeniería y en ciencia. Recibió un reconocimiento por la publicación de sus investigaciones en la teoría mecánica del calor.

Rankine enfocó su atención al problema de calcular la eficiencia de las máquinas térmicas, e intentó derivar la ley de Carnot. Intentó en 1851, deducir la ley directamente de su hipótesis de los vórtices moleculares.

Demostró que la eficiencia de una máquina cuando esta operando en un ciclo de Carnot entre dos temperaturas, solo depende de esas temperaturas. Obtuvo la eficiencia como función de la diferencia de temperaturas y una constante universal.

Desarrolló una teoría general de la energía independiente de las hipótesis mecánicas y reestructuró su teoría del calor. En 1853, distinguió entre dos tipos de energía, "energía actual (o sensible)", que causa que las sustancias cambien su estado, y "energía potencial (o latente)", que reemplaza la energía actual perdida en cualquier cambio. Rankine propuso una ley que determinara la cantidad de energía transformada durante cualquier cambio de una sustancia.

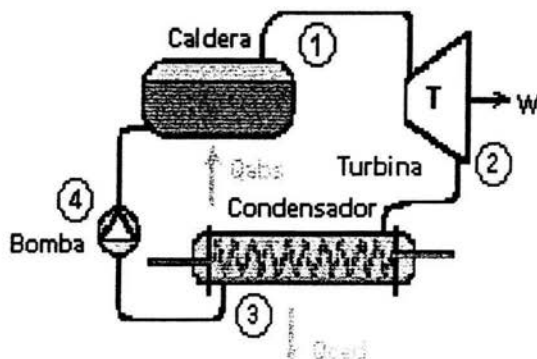
Esta ley fue hecha por Rankine para hacerla coincidir con la ley de Carnot, en particular en el caso de una máquina térmica operando en un ciclo Carnot. De 1854, empezó a utilizar de manera frecuente su "función termodinámica", la cual identificó con la entropía de Clausius.

En 1855, la ley de la transformación de la energía fue asimilada por Rankine en una teoría general de la energía llamada "la ciencia de los energéticos". Rankine fue el fundador de esta ciencia.

Rankine simplificó mediante métodos elementales, la teoría del calor, para presentarla de manera sistemática a los ingenieros para que pudieran entenderla y utilizarla. Además, sus cálculos numéricos en una amplia variedad de máquinas térmicas, su análisis (llamado Ciclo Rankine) de la operación de una máquina ideal empleando un vapor condensable como vapor, y los cálculos de las propiedades del vapor y de otros gases y vapores que realizó a lo largo de su carrera, lo llevaron a tener una gran reputación como el mayor contribuyente al entendimiento del fenómeno térmico.

En 1859, Rankine propuso otra escala de temperatura termodinámica la cual también asignaba al 0 para el cero absoluto termodinámico, pero utilizó el grado Fahrenheit como su unidad base. Esta escala absoluta fue nombrada más tarde escala de temperatura termodinámica Rankine y su unidad designada grado Rankine ($^{\circ}R$). Fue uno de los fundadores de la ciencia de la termodinámica, especialmente en referencia a las máquinas de vapor. Murió en Glasgow, en 1872.

Ciclo de Rankine

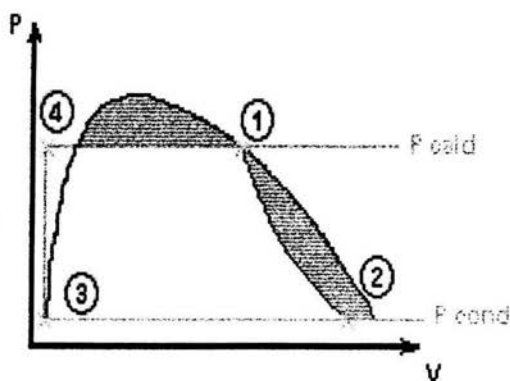


Es un ciclo muy empleado en máquinas simples y cuando la temperatura de fuente caliente está limitada. Es mucho más práctico que el ciclo de Carnot con gas pues la capacidad de transporte de energía del vapor con cambio de fase es mucho más grande que en un gas.

La bomba recolecta condensado a baja presión y temperatura. Típicamente una presión menor a la atmosférica, estado (3) y comprime el agua hasta la presión de la caldera (4). Este condensado a menor temperatura de la temperatura de saturación en la caldera es inyectada a la caldera. En la caldera primero se calienta, alcanzando la saturación y luego se inicia la ebullición del líquido. En (1) se extrae el vapor de la caldera (con un título muy cercano a 1) y luego se conduce el vapor al expansor. En este ejemplo el expansor es una turbina. Allí se expande, recuperando trabajo, en la turbina, hasta la presión asociada a la temperatura de condensación (2). El vapor que descarga la máquina entra al condensador donde se convierte en agua al entrar en contacto con las paredes de tubos que están refrigerados en su interior (típicamente por agua).

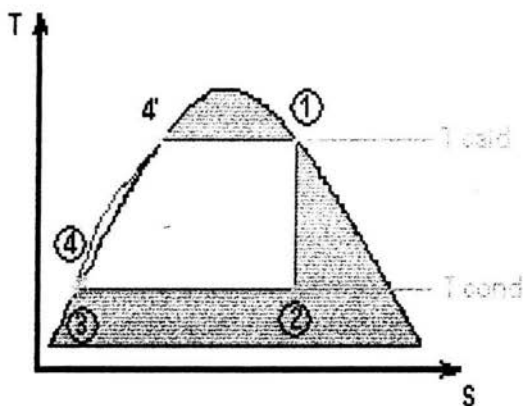
El condensado se recolecta al fondo del condensador, donde se extrae (3) prácticamente como líquido saturado. Allí la bomba comprime el condensado y se repite el ciclo.

A continuación se presentan los diagramas P - V y T - S donde se representa más gráficamente el ciclo.



En diagrama P - V , el ciclo se describe como sigue (los puntos termodinámicos están indicados con pequeñas cruces, cerca del número correspondiente): En (1) la caldera entrega vapor saturado (por lo tanto con título $x=1$), el que se transporta a la turbina. Allí el vapor se expande entre la presión de la caldera y la presión del condensador, produciendo el trabajo W . La turbina descarga el vapor en el estado (2). Este es vapor con título $x<1$ y el vapor es admitido al condensador.

Aquí se condensa a presión y temperatura constante, evolución (2)-(3), y del condensador se extrae líquido condensado con título $x=0$, en el estado (3). Luego la bomba aumenta la presión del condensado de p_{cond} a p_{cald} , evolución (3)-(4) y reinyecta el condensado en la caldera.



En diagrama T-S el ciclo Rankine se describe como sigue: El vapor está inicialmente con título 1, como vapor saturado (1), luego el vapor se expande en la turbina, generando trabajo, evolución (1)-(2). Esta evolución se puede suponer adiabática. Si además se supone sin roce, se asimilará a una isentrópica. Si hubiera roce, la entropía aumentaría (como veremos más adelante). A la salida de la turbina el vapor tendrá título inferior a 1. El vapor que descarga la turbina es admitido al condensador, donde condensa totalmente a temperatura y presión constantes, evolución (2)-(3). Sale del condensador en el estado (3) como líquido saturado (título $x=0$). Ahora el condensado es comprimido por la bomba, evolución (3)-(4), aumentando su presión hasta la presión de la caldera. Si bien la presión aumenta en forma significativa, la temperatura casi no sube. Idealmente esta compresión también es adiabática e isentrópica, aunque realmente la entropía también aumenta. En el estado (4) el líquido está como líquido subsaturado. Este se inyecta a la caldera, con un importante aumento de temperatura y entropía, hasta alcanzar la saturación. Allí comienza la ebullición. Todo el proceso (4)-(1) ocurre dentro de la caldera. Se Incluye el punto 4' que es cuando se alcanza la saturación, pero solo para efectos ilustrativos.



Julius Robert von Mayer

(1814-1878)

Nació en 1814 en Heilbronn, Württemberg, Alemania. Mayer asistió al Gimnasio clásico en Heilbronn hasta 1829, cuando se cambió al seminario teológico de Schöntal. En 1832, ingresó en la facultad de medicina de la Universidad de Tübingen. Al año siguiente fue aceptado para el doctorado de medicina.

En 1840, sirvió como cirujano en un barco mercante holandés en un viaje a las indias orientales. Estando en Jakarta, Java, realizó algunas observaciones que lo convencieron de que el movimiento y el calor eran manifestaciones interconvertibles de una misma cosa, una fuerza indestructible en la naturaleza, y esta fuerza era conservada cuantitativamente en cualquier conversión.

En 1841, Mayer regresó a Heilbronn para practicar medicina, pero la física fue su nueva pasión. En Junio del mismo año, completó su primer documento científico titulado, "Sobre la determinación cuantitativa y cualitativa de las Fuerzas". Entonces, Mayer se interesó en el área del calor y su movimiento. Presentó un valor en términos numéricos para el equivalente mecánico del calor.

También fue el primero en describir el proceso químico vital, ahora referido a la oxidación como la fuente primaria de energía para cualquier criatura viviente.

Después de discutir la interconvertibilidad de la fuerza que cae y la fuerza de movimiento en un documento de 1842, Mayer se dio cuenta de que el movimiento con frecuencia desaparece sin producir una cantidad equivalente de otro movimiento o una fuerza que cae. En estos casos, el movimiento es convertido en una forma diferente de fuerza, llamada calor.

Una fuerza que cae, el movimiento, y el calor son manifestaciones diferentes de una fuerza indestructible, y por lo tanto, mantienen relaciones cuantitativas definidas entre ellas mismas.

Mayer concluyó, que debía existir en la naturaleza un valor numérico constante que expresara el equivalente mecánico del calor. Estableció que este valor era 365 kilogramos-metros por caloría; que es, la fuerza que cae en una masa de un kilogramo elevada 365 metros que es igual a, la fuerza-calor requerida para elevar un kilogramo de agua un grado centígrado.

Aunque en su documento de 1842, Mayer estableció meramente el equivalente mecánico del calor sin dar su derivación, en documentos posteriores Mayer dio su método. Supongamos que x , es la cantidad de calor en calorías requerido para elevar un centímetro cúbico de aire de $0^{\circ} C$, a $1^{\circ} C$. a volumen constante. Para elevar el mismo centímetro cúbico de aire un grado centígrado a presión constante requerirá una cantidad más grande de calor, digamos $x + y$, ya que, en la expansión de volumen, debe hacerse trabajo contra la fuerza que mantiene constante la presión.

Si esta última expansión es realizada bajo una columna de mercurio, entonces el calor extra y aumentará la columna de mercurio. Por lo tanto, si P es el peso de la columna de mercurio y h es la distancia que se eleva en la expansión, se puede escribir $y = P h$; el problema será encontrar y . De datos publicados, Mayer sabía que se requerían 3.47×10^{-4} calorías para elevar un centímetro cúbico de aire un grado centígrado bajo una presión constante de 1.033 g/cm^2 . (que es, 76 cm de mercurio); por tanto $x + y = 3.47 \times 10^{-4}$ calorías.

El supo en base a datos de Dulong, que el radio de los calores específicos del aire a volumen constante y a presión constante es $1/1.421$; por tanto $x / (x + y) = 1/1.421$. conociendo el valor de $x + y$, Mayer encontró que $y = 1.03 \times 10^{-4}$ calorías.

Ya que se conoció la expansión para elevar la columna de mercurio $1/274$ centímetros, Mayer entonces tuvo la ecuación $y = Ph$, $1.03 \times 10^{-4} \text{ cal} = 1.033 \text{ g} \cdot 1/274 \text{ cm}$. La reducción de estas figuras condujeron a la igualdad de, 1 kilocaloría = 365 kilogramos-metros.

La derivación de Mayer del equivalente mecánico del calor fue tan preciso como el valor escogido para el radio de los calores específicos lo permitió. La derivación de Mayer se apoya en la suposición de que su centímetro cúbico de aire no ejerce trabajo interno durante la expansión libre; que significa, que todo el calor y se utiliza para elevar la columna de mercurio.

Se le otorgó un doctorado honorario en 1859, por la facultad de filosofía en la Universidad de Tübingen. En 1867, Mayer publicó "Die Mechanik der Wärme." Esta publicación trataba sobre la mecánica del calor y su movimiento. En noviembre del mismo año, se le otorgó el título de nobleza (von Mayer). Julius Robert von Mayer murió en Heilbronn en 1878.



James Clerk Maxwell

(1831-1879)

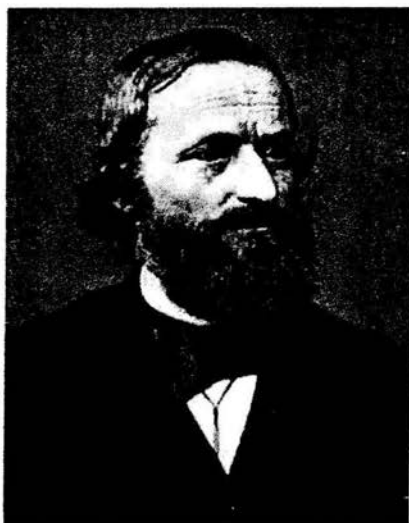
Nació en Edimburgo en 1831 y estudió en las universidades de Edimburgo y Cambridge. Fue profesor de física en la Universidad de Aberdeen desde 1856 hasta 1860. En 1871, supervisó la construcción del Laboratorio Cavendish. Amplió la investigación de Michael Faraday sobre los campos electromagnéticos, demostrando la relación matemática entre los campos eléctricos y magnéticos. También mostró que la luz está compuesta de ondas electromagnéticas.

Su obra más importante es *Tratado sobre Electricidad y Magnetismo* (1873), en donde, por primera vez, publicó su conjunto de cuatro ecuaciones diferenciales en las que describe la naturaleza de los campos electromagnéticos en términos de espacio y tiempo.

El trabajo de Maxwell preparó el terreno para las investigaciones de Heinrich Rudolf Hertz, que realizó experimentos para apoyar sus teorías electromagnéticas. Posteriormente, su trabajo ayudó a los científicos a determinar la igualdad numérica de la velocidad de la luz en las unidades del sistema cegesimal y la relación de las unidades electromagnéticas con las electrostáticas. La unidad de flujo magnético en el sistema cegesimal se denominó *maxwell* en su honor.

Entre sus obras importantes destaca *Teoría del calor* (1877), la cual contenía las "relaciones de Maxwell" entre las variables termodinámicas, presión, volumen, entropía, y temperatura y sus derivadas parciales. Estas representaban las ecuaciones de campo de

Maxwell en electricidad, por medio de las cuales fueron sugeridas. También elaboró la teoría cinética de los gases, que explica las propiedades físicas de los gases y su naturaleza. Entre otros logros hay que destacar la investigación de la visión de los colores y los principios de la termodinámica. Murió en Cambridge, en 1879.



Gustav Robert Kirchhoff
(1824-1887)

Nació en Königsberg, Prussia [ahora Kaliningrado, Rusia]. Inventó el espectroscopio y junto con Bunsen, descubrió el rubidio (1861) y el cesio (1860) por métodos espectrales. Identificó la raya D del espectro solar como la producida por sodio vaporizado. En 1845, descubrió las leyes generales que rigen el comportamiento de un circuito eléctrico. Se dedicó al estudio de la Termodinámica y realizó investigaciones sobre la conducción y la radiación del calor.

Estudió los espectros del Sol, de las estrellas y de las nebulosas, confeccionando un atlas del espacio y demostró la relación existente entre la emisión y la absorción de la luz por los cuerpos incandescentes. Publicó diversas obras de contenido científico, entre las que cabe destacar *Vorlesungen über mathematische Physik* (1876-94) y *Gesammelte Abhandlungen* (1882; suplemento, 1891). Murió en Berlín en 1887.

Ley de Kirchhof.

En el equilibrio térmico el coeficiente de absorción es igual a la emisividad para la radiación a la misma temperatura.

$$\varepsilon_1 = \alpha_1$$

Para un cuerpo con emisividad $\varepsilon < 1$ el poder de emisión es:

$$q = A \varepsilon \sigma T^4$$

Donde q es la potencia emisiva, A es la superficie del cuerpo, ε es la emisividad, σ es la constante de Boltzmann y T es la temperatura absoluta.



Rudolf Clausius

(1822-1888)

Nació en 1822 in Koslin, Prussia (ahora Koszalin, Polonia). Después de recibir sus primeros estudios en una escuela privada, Clausius continuó sus estudios en Stettin antes de ingresar en la Universidad de Berlín en 1840. Y en 1847, completó su grado de doctor en filosofía.

En 1850, Clausius estableció los fundamentos de la termodinámica en su trabajo sobre la teoría del calor, "*Ueber die bewegende Kraft der Wärme*".

Dio clases en la Escuela Real de Artillería e Ingeniería en Berlín; sus publicaciones posteriores lo llevaron a ser profesor en el Polytechnicum en Zurich en 1855.

Con Maxwell, desarrolló la teoría cinética de los gases. En "*Über die Art der Bewegung welche wir Wärme nennen*" ("Sobre la clase de movimiento a la cual llamamos calor" (1857). Este fue el primer tratamiento sistemático de la teoría cinética.

Combinando los resultados de Joule con las teorías de Sadi Carnot abandonó la idea de que el calor se conservaba.

Estableció de manera formal la equivalencia del calor y del trabajo (Primera ley de la termodinámica) y en 1865 introdujo el concepto de *entropía*, la cual se define como la capacidad del calor para desarrollar trabajo, y demostró que la entropía del sistema se incrementa en un proceso irreversible. Llevó a cabo así mismo investigaciones sobre la teoría cinética de los gases y los fenómenos electroquímicos.

Demostró que la entropía nunca puede disminuir en un proceso físico y solo puede permanecer constante en un proceso reversible.

También estableció la primera y segunda leyes de la termodinámica de la siguiente forma.

1. La energía del universo es constante.
2. La entropía del universo tiende a un máximo.

Reestableció el principio de Sadi Carnot de la eficiencia de las máquinas térmicas. La ecuación de Clausius-Clapeyron expresa la relación entre la presión y la temperatura en la cual dos fases de una sustancia están en equilibrio.

En 1867, aceptó un profesorado en la Universidad de Würzburg. Se mudó a Bonn dos años más tarde y permaneció ahí como rector de la Universidad durante sus últimos años. Murió en Bonn en 1888.



James Prescott Joule

(1818-1889)

Nació en 1818 en Manchester, Inglaterra. Comenzó sus estudios en casa. A los dieciséis años fue enviado a estudiar a Cambridge con el químico Británico John Dalton. Estudió varios campos científicos durante su estancia ahí. Posteriormente Joule regresó a Manchester y comenzó a trabajar en la cervecera que le heredó su padre.

Descubrió que el calor disipado por un resistor está dado por $Q = I^2Rt$, cuyo resultado se conoce como ley de Joule, la cual establece que la cantidad de calor Q , producida en un conductor por el paso de una corriente eléctrica cada segundo, es proporcional a la resistencia R , del conductor y al cuadrado de la intensidad I , de corriente.

Motivado por creencias teológicas, Joule comenzó intentando demostrar la unidad de las fuerzas en la naturaleza. Determinó el equivalente mecánico del calor midiendo el cambio en la temperatura producido por la fricción de una paleta de hélice montada a un peso que caía.

Realizó una serie de mediciones y encontró que, en promedio, un peso de 772 libras que cae una distancia de un pie elevaría la temperatura de una libra de agua $1^\circ F$.

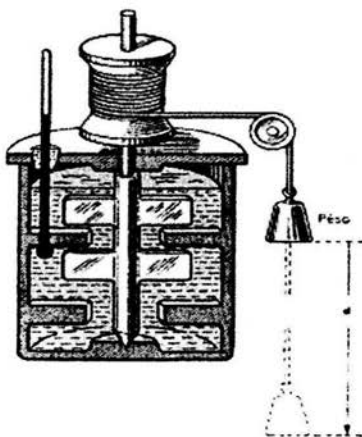
Esto corresponde a $(772 \text{ ft lbs})(1.356 \text{ J/ft lb}) = 59\,453.6 \text{ Calorías}$, ó $1 \text{ cal} = 4.15 \text{ Joules}$, cercano con el valor aceptado de $1 \text{ cal} = 4.184 \text{ J}$.

En honor a Joule, la unidad internacional de energía es el Joule. El joule se usa también como unidad de trabajo. Un joule es el trabajo realizado cuando una fuerza de un newton mueve algo una distancia de 3.3ft. (1 metro) en la dirección de la fuerza.

Joule no fue el primero en establecer el equivalente mecánico del calor, pero fue su demostración la que llegó a ser aceptada. No aseguró haber formulado una ley general de la conservación de la energía. Sin embargo, sus experimentos fueron fundamentales.

Además, los experimentos de Joule mostraron que el calor es producido por el movimiento, contradiciendo la teoría del calórico.

Joule también inventó la soldadura eléctrica y la bomba de desplazamiento. Al final de su vida Joule trabajó con Lord Kelvin y descubrieron que la temperatura de un gas desciende cuando se expande sin realizar ningún trabajo. Este fenómeno, se conoce como efecto Joule-Thomson, y sirve de base para la refrigeración y para los sistemas de aire acondicionado. Además también crearon termómetros más precisos y confiables. Murió en 1889.



Calorímetro de Joule



Franz Grashof
(1826-1893)

Ingeniero Alemán, nació en Dusseldorf, Alemania en 1826. Franz Grashof dejó la escuela a los quince años para trabajar como mecánico mientras asistía a una escuela de negocios. De 1844 a 1847, Grashof estudió matemáticas, física y diseño de maquinas en el Instituto Técnico Real de Berlín. En 1849, se embarcó en un viaje que lo llevó a tan lejos como las Indias holandesas y Australia en donde permaneció por alrededor de tres años antes de regresar a Berlín para continuar sus estudios en 1852.

Grashof fue uno de los líderes fundadores de la sociedad de ingenieros alemanes (Verein Deutscher Ingenieure, *VDI*) y asumió una enorme carga como autor, editor, corrector y despachador de publicaciones. Para 1863, el nombre de Grashof fue tan estimado, que el técnico de Karlsruhe lo designó para ser sucesor superintendente de la escuela de ingeniería. También sirvió como profesor de mecánica aplicada e ingeniería mecánica donde sus reconocidas conferencias incluían "resistencia de materiales," "Hidráulica," "teoría del calor," e "ingeniería general." Grashof murió en Karlsruhe en 1893.

En honor de Grashof, fue designado el número de Grashof, que es un número adimensional que relaciona a las fuerzas flotantes debidas a la diferencia de temperatura con las fuerzas viscosas en la transferencia de calor por convección natural. El número de Grashof caracteriza a la convección natural.

$$Gr = \frac{\beta g \rho^2 L^3 \Delta T}{\mu^2}$$

Donde L es la dimensión característica del sistema; g es la aceleración de la gravedad; β es el coeficiente de expansión térmica; ρ es la densidad; μ es la viscosidad; y $\Delta T = T_{superf} - T_{fluido}$.



Josef Stefan
(1835-1893)

Nació en Klagenfurt, Austria en 1835. A lo largo de su vida, sus contribuciones abarcaron varios campos importantes, incluyendo: la teoría cinética de los gases, hidrodinámica y en particular, la Radiación.

Stefan estudió en la Universidad de Viena, recibió su doctorado en filosofía en 1858 y fue maestro particular en físico matemáticas. En 1863, fue profesor de física y en 1866 Director del Instituto de Física. Fue un miembro distinguido de la Academia de las Ciencias donde fue designado secretario en 1875.

Antes del trabajo de Stefan, G. R. Kirchhoff ya había descrito el radiador perfecto como el "cuerpo negro perfecto", es decir, uno que absorbe toda la radiación en si mismo y no la refleja, pero que emite radiación de todas las longitudes de onda. Stefan demostró de manera empírica en 1879 que la radiación de tal cuerpo era proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta.

Esta relación se conoce como "ley de Stefan-Boltzmann" la cual fue deducida por L. Boltzmann en 1884 de consideraciones termodinámicas.

De su ley, Stefan pudo realizar la primera determinación exacta de la temperatura superficial del sol, obteniendo un valor aproximado de 6000° C.

En 1884 Ludwig Boltzmann, ex-estudiante de Stefan, dio una explicación teórica de la ley de Stefan basada en los principios termodinámicos y la teoría cinética. Boltzmann precisó que era válida solamente para los cuerpos negros perfectos, y que Stefan había podido derivar la ley porque el platino se aproxima a un cuerpo negro.

Otro trabajo importante de Stefan tenía que ver con la conducción de calor en gases, e ideó para este propósito un "diatermómetro", que fue utilizado para medir la conductividad térmica de materiales aislantes.

En 1891, Stefan publicó su trabajo sobre la formación de hielo en los mares polares, proporcionando una solución especial de problemas de conducción no lineal con cambio de fase. Murió en Viena, en 1893.

Ley de Stefan-Boltzmann.

El poder de emisión de radiación de un cuerpo negro solo es función de la temperatura, y viene dado por:

$$q = A \sigma T^4$$

En donde σ es la constante de Stefan-Boltzmann

$$\sigma = 5.71 \times 10^{-5} \frac{\text{ergios}}{\text{cm}^2 \text{ s } K^4}$$

$$\sigma = 4.92 \times 10^{-8} \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{ h } K^4}$$

$$\sigma = 5.6697 \times 10^{-8} \frac{W}{\text{m}^2 K^4}$$

$$\sigma = 0.173 \times 10^{-8} \frac{BTU}{\text{ft}^2 \text{ h } R^4}$$

Cuerpo negro: es aquel que absorbe toda la radiación que llega a su superficie

Cuerpo gris: es aquel que absorbe la radiación incidente en igual proporción para todas las longitudes de onda.

Emisividad (ϵ): es una medida de la habilidad de una superficie para absorber la radiación incidente. El cuerpo negro tiene $\epsilon = 1$. El cuerpo gris tiene $\epsilon < 1$.

Donde T es la temperatura absoluta, A es la superficie del cuerpo, y q es la potencia emisiva.



Hermann von Helmholtz

(1821 - 1894)

Nació en Postdam, Alemania en 1821. Su primer logro científico, un tratado de física realizado en 1847, versaba sobre la conservación de la energía y fue escrito en el contexto de sus estudios de medicina y conocimientos filosóficos. Descubrió el principio de conservación de la energía mientras estudiaba el metabolismo en los músculos. Trató de probar que no se pierde energía en los músculos en movimiento, porque eso también significaba que no existen "fuerzas vitales" para mover un músculo. Para sostener esta idea presentó su Ley de Conservación de la Fuerza en *Über die Erhaltung der Kraft* (sobre la conservación de la fuerza, 1847). Cuando Joule había medido el equivalente mecánico del calor, Helmholtz defendió la teoría dinámica del calor contra la teoría del calórico, argumentando que el calor libre de un cuerpo consiste en el movimiento microscópico de sus partículas, su calor latente en las fuerzas de tensión entre sus átomos.

En 1871 Helmholtz se trasladó de Bonn a Berlín, ejerciendo de profesor de física. Se interesó por el electromagnetismo. En 1882, Helmholtz distinguió entre la energía de "enlace", y la energía "libre" en las reacciones.

La primera es la porción de la energía total que, de acuerdo con el principio de la entropía, solo se puede obtener como calor; y la segunda es aquella que fácilmente puede ser convertida en otras formas de energía.

Helmholtz escribió sobre muchos tópicos diferentes, desde la edad de la tierra al origen del sistema planetario. Murió en Berlín, en 1894.



Robert Wilhelm Eberhard von Bunsen
(1811-1899)

Nació en Göttingen, Alemania en 1811. Estudió en la universidad de esta ciudad. Entre 1836 y 1852, dio clases sucesivamente en el Instituto Politécnico de Kassel y en las universidades de Marburgo y Breslau (actualmente Wroclaw, Polonia); después fue profesor en la Universidad de Heidelberg hasta que se retiró en 1889. Bunsen descubrió en 1834 el antídoto que todavía se utiliza hoy contra el arsénico: óxido de hierro hidratado. Su estudio de los cianuros dobles confirmó el principio de química orgánica en el que la naturaleza de un compuesto depende de los radicales que lo componen.

Inventó el mechero Bunsen, un mechero de gas utilizado en los laboratorios científicos.

Entre los inventos de Bunsen también se encuentran el calorímetro de hielo, una bomba de filtro y la célula eléctrica de cinc y carbono. Utilizó esta célula para producir un arco (electricidad) de luz e inventó un fotómetro para medir su luminosidad. Con su compatriota Gustav Robert Kirchhoff, inventó el espectroscopio y promovió el análisis del espectro que les condujo al descubrimiento conjunto del cesio y del rubidio. También utilizó la célula en su desarrollo de un método electrolítico para obtener magnesio metálico.

Los resultados de este estudio sobre los gases residuales se publicaron en su clásica obra *Métodos gasométricos* (1857). Bunsen murió en Heidelberg, Alemania en 1899.



Ludwig Boltzmann

(1844-1906)

Nació en Viena, Austria en 1844. Fue educado en Linz, donde se había mudado su familia. Al terminar su enseñanza media, Boltzmann ingresó en la Universidad de Viena, para estudiar física. Entre sus profesores estaba Joseph Stefan, con quien trabajó sobre la radiación continua. Recibió su doctorado en 1866 y su primera ayudantía docente en 1867. Después de trabajar con Stefan durante dos años, lo nombraron profesor de física teórica en la Universidad de Graz. Después de cuatro años en ese cargo, en 1873 aceptó una de las cátedras de matemáticas en la Universidad de Viena. Tres años después, volvió a Graz, pero esta vez por un tiempo mayor, para desempeñar la cátedra de física experimental. Cuando vuelve a Graz en 1876, ya Boltzmann se había hecho bastante conocido en el mundo científico.

Uno de los logros importantes de Boltzmann fue el hallazgo, en 1871, de lo que se conoce como la ley de distribución Maxwell-Boltzmann. A saber la energía media del movimiento de una molécula es igual para cada dirección.

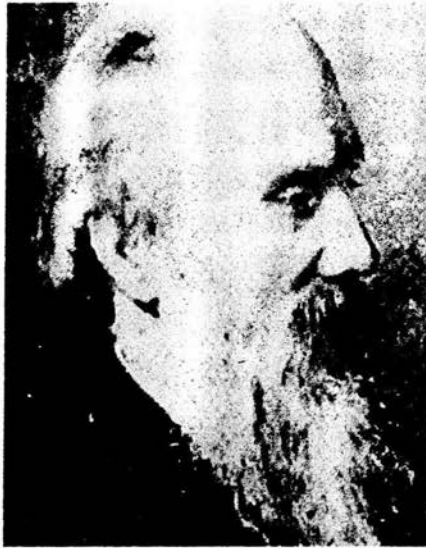
También es importante el desarrollo que realizó en 1884, sobre la ley empírica T^4 de Joseph Stefan , formulada en 1879 sobre la radiación del cuerpo negro. En su trabajo, demostró que la radiación de cuerpos negros podría derivar de los principios de la termodinámica.

Boltzmann se ganó su fama por su invención de la mecánica estadística. Labor que desarrolló independientemente de Willard Gibbs . Sus teorías conectaron las características y el comportamiento de átomos y las moléculas con las de las sustancias que constituían esas estructuras.

Como ya se ha señalado, Boltzmann trabajó en mecánica estadística que fue lo que le otorgó su fama. En uno de sus trabajos sobre el tema, y usando probabilidades, logró describir cómo las características de los átomos determinan la de la materia. En detalle su trabajo se relaciona con la segunda ley de la termodinámica que él derivó de los principios de la mecánica en la década de 1890.

En 1894, Boltzmann vuelve a trabajar en la Universidad de Viena, esta vez en la cátedra de física teórica que había quedado vacante debido a la muerte de su profesor Joseph Stefan. Sin embargo, al año siguiente Ernst Mach fue nombrado profesor titular de la cátedra de historia y filosofía de las ciencias.

En 1901, Ernst Mach, debido a su mal estado de salud, dejó la Universidad de Viena. Esto motivó a Boltzmann, en 1902, a volver a esa casa de estudios a ocupar la cátedra de física teórica que ya anteriormente había ejercido. Pero además, desempeñó la que ejercía Mach de historia y filosofía de las ciencias. Murió en Duino, Austria (ahora Italia) en 1906.



Sir William Thomson, lord Kelvin

(1824 - 1907)

Nació en Belfast en 1824. Su padre lo educó en matemáticas hasta los once años, después ingresó en la Universidad de Glasgow en 1841. Guiado por el interés de su padre en su educación, Thomson fue a la Universidad de Cambridge en 1845. Fue profesor de física en la Universidad de Glasgow en 1846, y hasta 1899. Se dedicó en especial a la investigación en los campos de la termodinámica y de la electricidad. Con independencia de Rudolf Clausius, descubrió el segundo principio de la termodinámica.

Estableció en el año 1848 una escala de temperatura que dividida de forma similar a la escala Celsius o centígrada, considera como punto cero el correspondiente al cero absoluto. La unidad empleada por él era el grado Kelvin.

En 1851, publicó unas ideas que condujeron a la segunda ley de la termodinámica y apoyó el trabajo sobre el equivalente mecánico del calor de su amigo James Joule.

Cambió el punto de vista del calor, en el momento en que fue conceptualizado como un fluido para la comprensión de la energía de movimiento de las moléculas. Los nombres de estos dos científicos están ligados con el famoso efecto Joule-Kelvin, el cual hace que trabajen los refrigeradores.

En colaboración con James Prescott Joule en el campo de la termodinámica, Kelvin desarrolló el trabajo sobre la interrelación del calor y la energía mecánica, y en 1852 ambos colaboraron para investigar el fenómeno al que se conoció como efecto Joule-Thomson.

Kelvin descubrió en 1853 el «efecto de estrangulación» y, en 1856, el efecto Thomson termoeléctrico, que permite expresar la generación de calor en los conductores por los que circula la corriente eléctrica. También en 1856, introdujo el término "energía cinética".

Estando en Cambridge, Thomson había publicado "El movimiento uniforme del calor en cuerpos sólidos homogéneos, y su conexión con la teoría matemática de la electricidad", (1842).

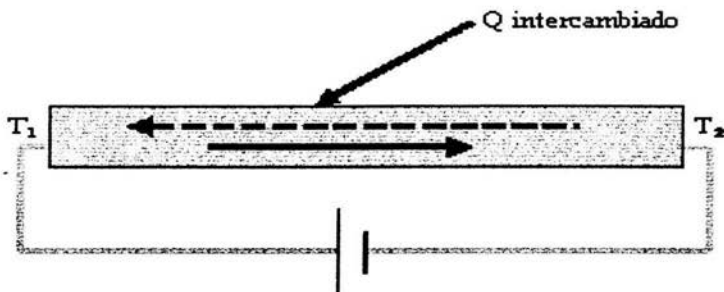
Su trabajo en el campo de la electricidad tuvo aplicación en la telegrafía. Estudió la teoría matemática de la electrostática, llevó a cabo mejoras en la fabricación de cables e inventó el galvanómetro de imán móvil y el sifón registrador. Ejerció como asesor científico en el tendido de cables telegráficos del Atlántico en 1857, 1858, 1865 y 1866. Kelvin también contribuyó a la teoría de la elasticidad e investigó los circuitos oscilantes, las propiedades electrodinámicas de los metales y el tratamiento matemático del magnetismo. Junto con el fisiólogo y físico alemán Hermann Ludwig von Helmholtz, hizo una estimación de la edad del Sol y calculó la energía irradiada desde su superficie. Entre los aparatos que inventó o mejoró se encuentran un dispositivo para predecir mareas, un analizador armónico y un aparato para grabar sonidos en aguas más o menos profundas. También mejoró aspectos de la brújula marina o compás náutico.

En 1866, fue nombrado caballero debido a sus logros en el tendido de cable submarino. En 1892, fue nombrado Baron Kelvin de Largs.

Muchas de sus obras científicas se recopilaron en su Ponencias sobre electricidad y magnetismo (1872), Ponencias matemáticas y físicas (1882, 1883, 1890) y Cursos y conferencias (1889-1894). Kelvin fue presidente de la Sociedad Real de Londres en 1890, y en 1902 recibió la Orden del Mérito. Murió en Londres en 1907.

Efecto Thomson

El efecto Thomson, descubierto en 1857 por Thompson W., consiste en la absorción o liberación de calor por parte de un conductor eléctrico homogéneo, con un gradiente de temperaturas, por el cual circula una corriente eléctrica.



El flujo neto de potencia calorífica por unidad de volumen, en un conductor de resistividad r , con un gradiente longitudinal de temperatura, por el que circula una densidad de corriente J será:

$$q = \frac{J^2}{\rho} + \sigma \nabla T \cdot J$$

Donde s es el coeficiente Thomson. El primer término corresponde al efecto Joule, irreversible, mientras que el segundo expresa el efecto Thomson, reversible.

Efecto Joule

La más conocida interacción entre un fenómeno eléctrico, la conducción de corriente eléctrica, y su fenómeno térmico asociado, el calentamiento del conductor por el que circula la corriente, es el Efecto Joule. La materia ofrece cierta "resistencia" al movimiento de los electrones, los cuales ceden energía cinética al entorno en los sucesivos choques. Esta energía proporcionada por los electrones se disipa en forma de calor.



Osborne Reynolds
(1842-1912)

Nació en Belfast, Irlanda en 1842. Comenzó sus primeros estudios con clases particulares, y después adquirió experiencia en una firma de ingeniería. Estudió matemáticas y se graduó del Queens College en Cambridge en 1867. Fue el primer profesor de ingeniería en el Owens College, Manchester en 1868. Fue electo miembro de la Royal Society en 1877.

Los estudios de Reynolds de condensación y la transferencia de calor entre sólidos y fluidos provocaron revisiones radicales en el diseño de calderas y condensadores, y su trabajo sobre las bombas de turbina permitió su rápido desarrollo. Formuló la "teoría de la lubricación" (1886) y en su clásico trabajo sobre la "ley de resistencia en canales paralelos" (1883) investigó la transición del flujo laminar, al flujo turbulento. Más tarde en 1889, desarrolló una estructura matemática que fue el estándar de su obra referente a la turbulencia. Otra obra incluía la explicación del radiómetro y una determinación del equivalente mecánico del calor. Reynolds se retiró en 1905 y murió en Watchet, Somerset en 1912. Su nombre se perpetuó en el "número de Reynolds", que da un criterio para la similitud dinámica y para corregir el modelado en muchos experimentos de flujo de fluidos.

En honor de Reynolds, fue designado el número de Reynolds, que es un número adimensional que caracteriza a la convección forzada, y relaciona a las fuerzas de inercia respecto a las fuerzas viscosas, determinando si el flujo es laminar o turbulento según su valor.

La transferencia de calor por convección forzada procede principalmente por mezclado, y este requerimiento es satisfecho por el flujo turbulento; ya que el flujo laminar, es de hecho, una forma de conducción. La velocidad a la que el calor es transferido hacia/o de un líquido a un tubo, es menor en el flujo laminar que en el turbulento.

Para establecer si la transferencia de calor se está llevando a cabo en flujo laminar o turbulento es necesario calcular el número de Reynolds.

Cuando el Re es menor o igual a 2100 el flujo es laminar

Cuando el Re es de 2100 a 10000 el flujo se encuentra en la zona de transición (flujo laminar y/o turbulento)

Cuando el Re es mayor de 10000 el flujo es turbulento

$$Re = \frac{DV\rho}{\mu}$$

En donde D es el diámetro interior del tubo(m); V es la velocidad (m/s); ρ es la densidad (Kg/m^3); y μ es la viscosidad (Kg/ms).



Leo Graetz
(1856-1941)

Nació en Breslau, Alemania en 1856. Estudió Matemáticas y física en Breslau, Berlin y Strassburg.

En 1881, fue asistente de A. Kundt en Strassburg y en 1883 fue a la Universidad de Munchen donde fue Profesor en 1908 y ocupó el segundo puesto de física paralelo al de Roentgen.

Su trabajo científico fue concerniente a los campos de conducción de calor, radiación, fricción y elasticidad. Después de 1890, su trabajo se enfocó en problemas de ondas electromagnéticas y rayos catódicos.

Graetz fue un escritor técnico prolífico como se evidenciaba por sus veintitrés ediciones de su libro *Electricidad y sus Aplicaciones* y un trabajo de un quinto volumen *Manual de Electricidad y Magnetismo*. Estos trabajos contribuyeron a la amplia diseminación del conocimiento en la electricidad que, en su momento de impresión, todavía estaba en su infancia. Murió en Munchen en 1941.

En honor de Graetz, fue designado el número de Graetz, que es un número adimensional que relaciona la capacidad térmica con la transferencia de calor por convección en flujo laminar.

$$Gz = \frac{W C_p}{k L}$$

Donde W es el flujo másico(Kg/h); C_p es el calor específico(Kcal/Kg°C); k es la conductividad térmica(Kcal/Kg°C); y L es la longitud del tubo(m).

CAPITULO IV

SIGLO XX



Sir Thomas Edward Stanton
(1865-1931)

Nació en Atherstone en Warwickshire, Inglaterra en 1865. En 1888, ingresó al colegio Owens, en Manchester, y siguió el curriculum de ingeniería en el laboratorio Whitworth bajo la batuta de Osborne Reynolds. De 1892 hasta 1896 fue tutor residente en matemáticas e ingeniería en Hulme, Manchester. En 1896, Stanton obtuvo un puesto como conferencista asistente en ingeniería en la facultad universitaria, en Liverpool. En Diciembre de 1899, fue profesor de ingeniería en la facultad universitaria de Bristol y superintendente del departamento de ingeniería del laboratorio nacional de física en Bristol en 1901. Mantuvo este puesto hasta su retiro en 1930, y justo un año antes de su muerte.

El principal campo de interés de Stanton fue el flujo de fluidos, la fricción y el problema relacionado con la transmisión de calor. De 1902 a 1907 ejecutó un largo programa de investigación que se enfocó en las fuerzas del viento sobre estructuras, tales como puentes y techos. Después de 1908, Stanton se dedicó a problemas de diseño de aeroplanos y dirigibles y a la disipación de calor de maquinas enfriadas con aire.

En honor de Stanton, fue designado el número de Stanton, que es un número adimensional que relaciona el calor transferido en la superficie, y el transportado por el fluido.

$$St = \frac{h}{\rho V C_p}$$

Donde h es el coeficiente de calor por convección en (Kcal/Kg°C); ρ es la densidad (Kg/m³); V es la velocidad (m/s), y C_p es el calor específico (Kcal/Kg°C).



Ludwig Prandtl

1875-1953

Nació en Freising, Bavaria en 1875. Fue un físico alemán famoso por su trabajo en aeronáutica. Se tituló en Munich en 1900 con una tesis sobre estabilidad elástica, y consiguió el puesto de Profesor de mecánica aplicada en Gottingen por cuarenta y nueve años, hasta su muerte en 1953.

En 1925, Prandtl fue Director del Instituto Kaiser Guillermo para mecánica de fluidos. Su descubrimiento en 1904 de la capa límite que colinda con la superficie de un cuerpo en movimiento en un fluido que permitió comprender la fricción de arrastre de capa y de la manera como las líneas de corriente reducen el arrastre de las alas de avión y de otros cuerpos en movimiento. Su trabajo sobre la teoría de ala, publicada entre 1918 y 1919, dilucidó el flujo sobre las alas de avión de envergadura finita. Las consecuencias directas de su teoría de capa límite fueron la introducción del número de Reynolds en mecánica de fluidos, y los efectos de la fricción de flujo de fluido en muchos problemas de transferencia de calor.

El trabajo de Prandtl y los avances decisivos en la capa límite y las teorías de ala fueron el material básico de la aeronáutica.

También hizo importantes contribuciones a las teorías de flujo supersónico y de turbulencia, y contribuyó mucho al desarrollo de los túneles de viento y otros equipos aerodinámicos.

En honor de Prandtl, fue designado el número de Prandtl, que es un número adimensional que relaciona las propiedades viscosas y la conductividad térmica del fluido.

$$Pr = \frac{C_p \mu}{k}$$

Donde C_p es el calor específico (Kcal/Kg°C), μ es la viscosidad (cp) y k es la conductividad térmica (Kcal/Kg°C).



Max Jacob
(1879-1955)

Nació en Ludwigshafen, Alemania en 1879. Estudió ingeniería eléctrica en la Universidad Técnica de Munich, donde se graduó en 1902. Se le otorgó un diploma de ingeniero en física aplicada en 1903, y el grado de doctor en ingeniería en 1904.

De 1903 hasta 1906, fue un asistente de O. Knoblauch en el laboratorio para física técnica y más tarde se unió al Phisikalisch-Technische Reichsanstalt en Berlín-Charlottenburg en 1910, donde comenzó su carrera en termodinámica y transferencia de calor.

Condujo una importante cantidad de trabajo en estos campos, cubriendo áreas como vapor y aire a presión alta, dispositivos para medir la conductividad térmica, los mecanismos de ebullición y condensación, flujo en tuberías y en toberas y mucho más.

Durante este tiempo, escribió alrededor de 200 documentos técnicos y fue una prolífica fuente de revisiones críticas, artículos y discusiones.

En 1936, emigró a los Estados Unidos, y comenzó un año de conferencias patrocinadas por ASME. Fue profesor investigador en el Instituto de Tecnología de Illinois y consultor en investigación de transferencia de calor para la fundación en investigación de Armour.

En 1942, fundó y fue el primer director del laboratorio de transferencia de calor del Instituto de Tecnología de Illinois.

Sus años de investigación resultaron en contribuciones significativas a la literatura de la disciplina; cerca de 500 libros, artículos, revisiones y discusiones han sido publicados con Su nombre. Murió en 1955.



Allan Philip Colburn
(1904 – 1955)

Nació en Wisconsin, EUA en 1904. Se graduó de la Universidad de Wisconsin con el grado de ingeniero químico en 1926, recibió su doctorado en ciencias 1927 y su Ph.D. en 1929.

La investigación de Colburn se enfocó sobre la condensación del agua vapor de líneas de aire saturado, un tópico que en sus aspectos más amplios le interesaron a lo largo de su vida. Para lidiar con este problema complejo, trajo juntos por primera vez en el trabajo de la ingeniería estadounidense, los fundamentos de la transferencia de momentum, calor y masa junto con los principios termodinámicos.

Colburn se unió al departamento de ingeniería química en la Universidad de Delaware en 1938. Fue designado como asistente del presidente de la Universidad en 1947, presidente en función en 1950, y sirvió como rector y coordinador de investigación científica hasta su muerte en 1955.

Analogía de Colburn

Al examinar las ecuaciones empíricas para transferir el calor y el momentum en la zona turbulenta para fluidos que se mueven en el interior de tubos, Colburn encontró:

$$Nu = 0.023(Re)^{0.8}(Pr)^{0.33} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0.14}$$

$$f_D = 0.184 (Re)^{-0.2}$$

Si la ecuación de calor se divide entre el $(Re Pr)$

$$\frac{Nu}{Re \times Pr} = 0.023 \frac{(Re)^{0.8}(Pr)^{0.33} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0.14}}{Re \times Pr}$$

De lo anterior resulta:

$$St(Pr)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0.14} = 0.023(Re)^{-0.2}$$

Si la ecuación de flujo se divide entre 8

$$\frac{f_D}{8} = 0.023(Re)^{-0.2}$$

Igualando se tiene:

$$St(Pr)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0.14} = \frac{f_D}{8} = j_H$$

El término anterior se denomina factor j_H para calor.

Esto indica que hay una analogía o relación entre la transferencia de momentum y la de calor. Basándose en lo anterior se han obtenido muchos datos de transferencia de calor a partir de datos de transferencia de momentum, sobre todo para geometrías simples.



Wilhelm Nusseft
(1882 – 1957)

Nació en 1882, en Nurnberg, Alemania. Estudió equipos industriales en las Universidades Técnicas de Berlín-Charlottenburg y en Munich, y se graduó en 1904. Condujo estudios avanzados en matemáticas y física, y fue asistente en el Laboratorio para física técnica en Munich. Completó su tesis doctoral sobre la "Conductividad de materiales aislantes" en 1907. De 1907 a 1909 trabajó como asistente, y calificó para un profesorado con su trabajo sobre "transferencia de calor y de momentum en tubos"

En 1915, publicó su innovador documento: *las leyes básicas de la transferencia de calor*, en el cual primero propuso los grupos adimensionales conocidos ahora como los parámetros principales en la teoría similar de transferencia de calor.

Otras obras famosas tenían que ver con la condensación de película de vapor sobre superficies verticales, la combustión de carbón pulverizado y la analogía entre la transferencia de masa y de calor en la evaporación. Entre sus obras principalmente están las soluciones para la transferencia laminar de calor en la región de entrada de los tubos, para cambio de calor en flujo cruzado y la teoría de los regeneradores.

Nusselt fue profesor en las Universidades Técnicas de Karlsruhe de 1920 a 1925 y en Munich, de 1925 hasta su retiro en 1952. Murió en Munich en 1957.

En honor de Nusselt, fue designado el número de Nusselt, que es un número adimensional que relaciona la transferencia de calor por convección forzada y por conducción. El número de Nusselt es básico en la transferencia de calor por convección.

$$Nu = \frac{h D}{k}$$

Donde h es el coeficiente de transferencia de calor (Kcal/m²°C); D es la dimensión característica del sistema (m); y k es la conductividad térmica(Kcal/Kg°C).



Ernst Schmidt

(1892 – 1975)

Fue pionero en el campo de la ingeniería termodinámica, especialmente en la transferencia de calor y masa. Nació en Vogelsen Alemania en 1892. Estudió ingeniería civil y eléctrica en Dresden y Munich y se unió al laboratorio para física aplicada en la Universidad Técnica de Munich, en 1919. Uno de sus primeros esfuerzos en investigación fue una cuidadosa medición de las propiedades de radiación de sólidos, lo cual causó que propusiera y desarrollara el uso del papel aluminio como un efectivo escudo de radiación.

En 1925, recibió una llamada para ser profesor y director del laboratorio de ingeniería en la Universidad Técnica en Danzig. Aquí publicó documentos sobre el ahora bien conocido "método de diferencia grafica para conducción de calor inestable" y sobre "el método de la sombra" para hacer visibles los límites térmicos y para obtener coeficientes de transferencia de calor locales. Fue el primero en medir la velocidad y la temperatura de campo en una capa límite libre de convección y los grandes coeficientes de transferencia que ocurren en una gotita de condensación.

Un documento puntualizó la analogía entre la transferencia de calor y de masa lo que causó que a la cantidad adimensional involucrada se le llamara "Número de Schmidt".

En 1937, fue director del Instituto para la Propulsión del recién fundado establecimiento de investigación en Aeronáutica en Braunschweig y profesor de esa Universidad. En 1952, Schmidt ocupó el puesto para termodinámica en la Universidad técnica de Munich antes de que fuera considerado por Nusselt. Estando muy involucrado en el desarrollo de las tablas internacionales de vapor, Schmidt continuó su actividad científica después de su retiro en 1961 y hasta su muerte en 1975.

En honor de Schmidt, fue designado el número de Schmidt, que es un número adimensional que relaciona el impulso y la difusión de masa.

$$Sc = \frac{\mu}{\rho D}$$

Donde μ es la viscosidad; ρ es la densidad, y D es la difusividad.

Schmidt, creó un método que puede emplearse para la resolución de problemas de conducción de calor a régimen transitorio, el cual se basa en diferencias finitas.

A partir de la ecuación de conducción a régimen transitorio, o segunda ley de Fourier

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \nabla^2 T$$

Y para la conducción en una sola dirección:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

Si la ecuación anterior se pone en base a incrementos finitos, tendremos:

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \alpha \frac{(\Delta T)^2}{\Delta x^2}$$

Si definimos a:

$$\Delta T_t = T_{x,t+1} - T_{x,t}$$
$$(\Delta T_x)^2 = (T_{x+1,t} - T_{x,t}) - (T_{x,t} - T_{x-1,t})$$

Sustituyendo en la ecuación, nos queda:

$$T_{x,t+1} - T_{x,t} = \alpha \frac{\Delta t}{\Delta x^2} [(T_{x+1,t} - T_{x,t}) - (T_{x,t} - T_{x-1,t})]$$

Rearreglando lo anterior queda como:

$$T_{x,t+1} - T_{x,t} = \alpha \frac{\Delta t}{\Delta x^2} [T_{x+1,t} - 2T_{x,t} + T_{x-1,t}]$$

Si escogemos $\alpha \frac{\Delta t}{\Delta x^2}$ de manera tal que sea igual a 0.5, se obtiene que:

$$T_{x,t+1} = \frac{T_{x+1,t} + T_{x-1,t}}{2}$$

Esta es la ecuación del método gráfico que indica que la temperatura en cualquier punto a un tiempo dado es la media aritmética de las temperaturas en los puntos situados durante el incremento anterior de tiempo. Aquí se muestran varias graficas, para un perfil donde se utilizaron cinco intervalos de tiempo.

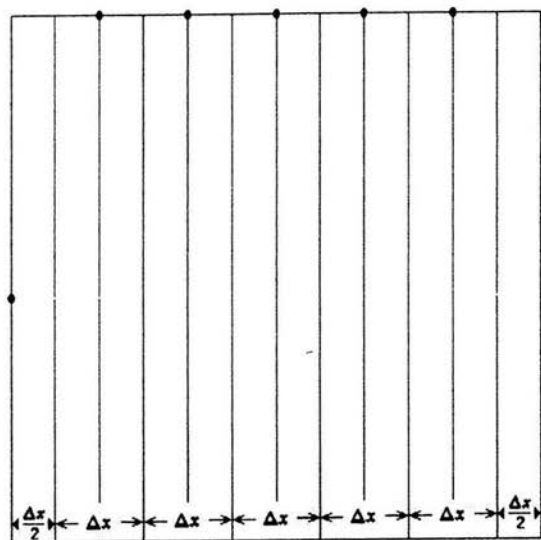
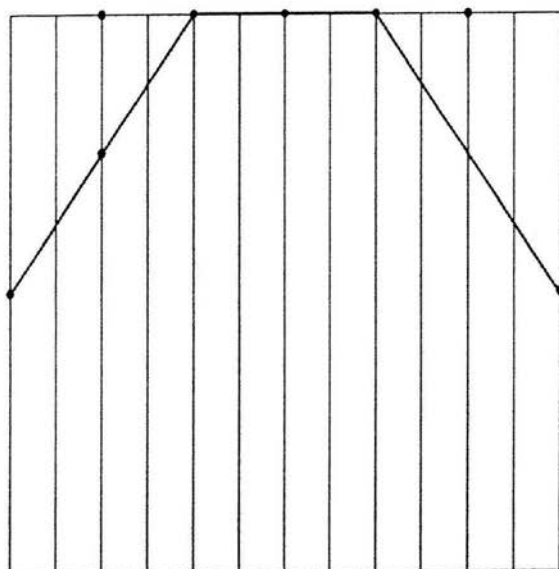
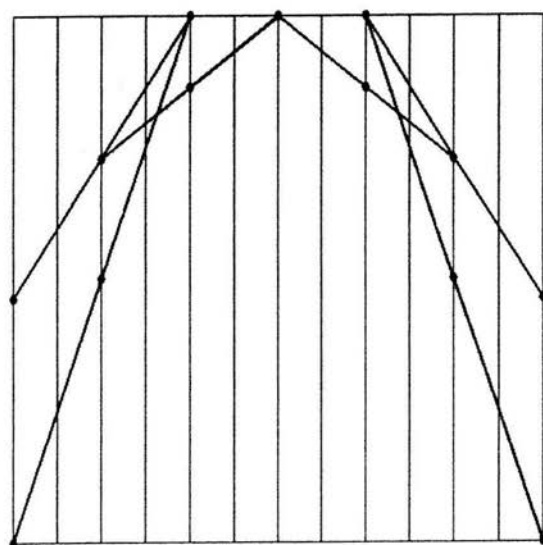


Imagen ficticia en el espejo.
de una placa real

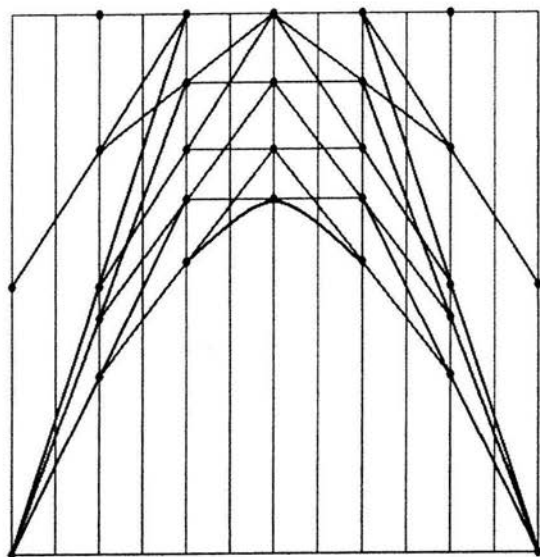
Gráfica inicial



Gráfica al primer incremento



Gráfica al segundo incremento



Gráfica al quinto incremento

CONCLUSIONES

A través de la elaboración del presente trabajo, he podido conocer el desarrollo de la *Transferencia de Calor*, desde las primeras ideas que surgieron en la época primitiva hasta el gran desarrollo técnico actual. Así mismo, aprendí un poco más de la vida y obra de cada uno de los personajes que contribuyeron al desarrollo de esta ciencia y de su importancia en la ingeniería química.

Las ideas y descubrimientos de estos personajes, me permitieron enlazarlas con muchos de los fundamentos de la *Transferencia de Calor*, gracias a ello pude comprender de donde se basan muchos de los conceptos que se adquieren de esta materia.

Esta obra complementa la asignatura "*Transferencia de Calor*", y los alumnos pueden conocer la parte histórica de la materia, ya que no se da en un curso regular. Aquí se encuentran si no todos, al menos los personajes que tuvieron una contribución más importante.

Dejo abierta la posibilidad de que más adelante esta obra se pueda retomar para ampliarla; ya que la *Transferencia de Calor* es una ciencia, en la que todavía se siguen realizando investigaciones en todo el mundo, y pueden surgir nuevos hombres que en el futuro puedan encontrar nuevas aplicaciones a esta ciencia.

BIBLIOGRAFÍA

- ↓ <http://www.monografias.com>
- ↓ <http://www.tochtli.fisica.uson.mx>
- ↓ <http://www.thales.cica.es/rd/Recursos>
- ↓ <http://www.html.rincondelvago.com>
- ↓ <http://omega.ilce.edu.mx>
- ↓ <http://es.encarta.msn.com>
- ↓ <http://ar.geocities.com>
- ↓ <http://es.rice.edu>
- ↓ <http://www.uv.es/~bertomeu/material/museo/termino.htm>
- ↓ <http://www.edu.aytolacoruna.es/aula/fisica/fisicainteractiva/Calor/historia/historia.htm>
- ↓ <http://etsin.upm.es>
- ↓ http://www.fisicanet.com.ar/materias/fi_2_termodinamica.html
- ↓ <http://www.me.utexas.edu>
- ↓ <http://www.Kinesiologia.com.mx>

- ↓ <http://www.scienceworld.wolfram.com>
- ↓ Dictionary of Scientific Biography
Charles Coulson Gillespie
Volumenes 1, 2 , 3 y 4
USA, 1981
- ↓ Historia de los inventos
Salvat Editores S.A. de C.V.
España, 1986
- ↓ <http://www.corrosion-doctors.org/Biographies/BunsenBio.htm>
- ↓ <http://cipies.cec.uchile.cl>
- ↓ <http://www-groups.dcs.st-and.ac.uk>
- ↓ <http://www.chem.gla.ac.uk/~alanc/dept/black.htm>
- ↓ <http://www.rumford.com/Rumford.html>
- ↓ http://dctrl.fi-b.unam.mx/sistemas_y_seriales/historia.html

Descubrimiento del fuego:

- ↓ <http://pastranec.net/historia/antiguo>

Teoría de los cuatro elementos:

- ↓ <http://www.culturaclasica.com>

Primeros dispositivos móviles que utilizaban calor:

- ↓ http://www.control-systems.net/resources/historia/historia_control.htm

Destilación:

- ↓ Historia de los inventos
Salvat Editores S.A. de C.V.
España, 1986
- ↓ http://www.levity.com/alchemy/images_s.html

Conducción, convección y radiación:

- ↓ Transferencia de Calor
J.P. Holman
Editorial. Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V.
Décima impresión
México, 1999
- ↓ Procesos de Transferencia de Calor
Donald Q. Kern
Compañía Continental, S.A. de C.V.
México, 1987
- ↓ Principios de Operaciones Unitarias
Alan S. Foust
Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V.
Segunda Edición
México, 1990

Medición de temperatura:

- ↓ http://www.brunelleschi.imss.fi.it/vitrum/emodello_os.html
- ↓ <http://galilei.iespana.es/galilei/biograf.htm>
- ↓ http://www.astro.uu.se/history/Celsius_eng.html
- ↓ <http://home.comcast.net/~igpl/Temperature.html>
- ↓ <http://www.mlahanas.de/Greeks/HeronAlexandria.htm>
- ↓ http://www.galeon.com/termometria/nombres_ilustres.htm

Calor sensible y latente:

- ↓ <http://www.chem.gla.ac.uk/~alanc/dept/black.htm>

Teoría de la radiación:

- ↓ http://www.tu-bs.de/institute/pci/aggericke/Personen/Boltzmann_Biography.html
- ↓ http://www-gap.dcs.st-and.ac.uk/~history/PictDisplay/Stefan_Josef.html
- ↓ <http://www.hao.ucar.edu/public/education/sp/images/kirchhoff.html>

TEMAS

1. Descubrimiento del fuego 10000 años a.c.
2. Metalurgia del cobre, oro y estaño 5400 años a.c.
3. Metalurgia del bronce entre 4000 y 3000 años a.c.
4. Vidrio 2000 años a.c
5. Metalurgia del hierro 1900 años a.c.
6. Aparición de la teoría de los cuatro elementos 400 años a.c.
7. Primeros dispositivos móviles que utilizaban calor siglos III, II a.c. y I de nuestra era
8. Termas Romanas 196 a.c.
9. Destilación siglo I de nuestra era
10. Medición de la temperatura 1600 a 1700
11. Concepto de convección 1701
12. Teoría del flogisto 1702
13. Nacimiento de la máquina de vapor 1712
14. Calor sensible y latente 1756
15. Concepto de conducción 1822
16. Ciclo de Carnot 1824
17. Ciclo de Rankine 1855
18. Teoría de la radiación 1879
19. Teoría de flujo de fluidos y transferencia de calor 1883
20. Aparición de los números adimensionales en transferencia de calor 1915