Termodinámica
FIS1523-4



Tema #1
Conceptos Básicos

Capítulo 1 (Cengel y Boles)

CAPÍTULO

1

INTRODUCCIÓN Y CONCEPTOS BÁSICOS

Toda ciencia posee un vocabulario único y la termodinámica no es la excepción. La definición precisa de conceptos básicos constituye una base sólida para el desarrollo de una ciencia y evita posibles malas interpretaciones. Este capítulo inicia con un repaso de la termodinámica y los sistemas de unidades y continúa con la explicación de algunos conceptos básicos, como *sistema*, *estado*, *postulado de estado*, *equilibrio* y *proceso*. También se analizan los términos *temperatura* y *escalas de temperatura* con especial énfasis en la Escala Internacional de Temperatura de 1990. Posteriormente se presenta *presión*, definida como la fuerza normal que ejerce un fluido por unidad de área, y se analizan las presiones *absoluta* y *manométrica*, la variación de la presión con la profundidad y los instrumentos de medición de presión, como manómetros y barómetros. El estudio cuidadoso de estos conceptos es esencial para lograr una buena comprensión de los temas tratados en este libro. Por último, se presenta una *técnica para resolver problemas*, intuitiva y sistemática, que se puede usar como modelo en la solución de problemas de ingeniería.

OBJETIVOS

En el capítulo 1, los objetivos son:

- Identificar el vocabulario específico relacionado con la termodinámica por medio de la definición precisa de conceptos básicos con la finalidad de formar una base sólida para el desarrollo de los principios de la termodinámica.
- Revisar los sistemas de unidades SI métrico e inglés que se utilizarán en todo el libro.
- Explicar los conceptos básicos de la termodinámica, como sistema, estado, postulado de estado, equilibrio, proceso y ciclo.
- Revisar los conceptos de temperatura, escalas de temperatura, presión y presiones absoluta y manométrica.
- Introducir una técnica intuitiva y sistemática para resolver problemas.

(En la medida de lo posible, siempre les trataré de indicar en qué parte de la bibliografía pueden profundizar el tema que estemos viendo)

¿Cúal es el origen de la palabra "Termodinámica"?

therme
=
calor

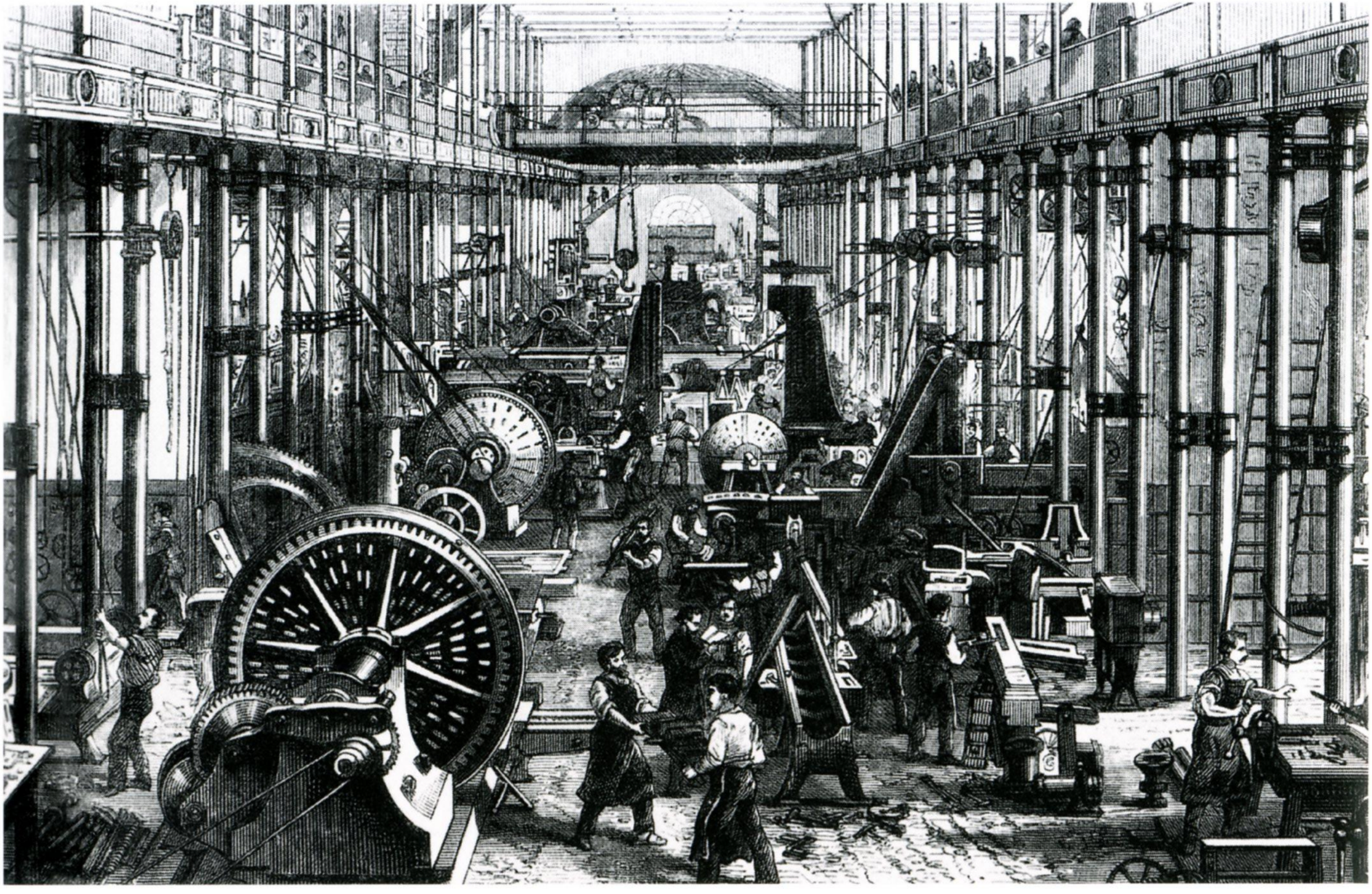
dynamis
=
fuerza

¿Cúando se originó esta ciencia?

(respuesta en siguiente diapositiva)

¡Al descubrir y desarrollar formas de convertir calor en trabajo!

(de donde el término termodinámica = fuerza por calor).



En otras palabras: durante la revolución industrial (~1800s)

¿Entonces, en términos generales, qué es la Termodinámica?

Es la ciencia de la energía

Absolutamente fundamental en ciencia e ingenieria



¿De qué se ocupa?

De la energía y sus transformaciones desde el punto de vista **macroscópico** (sin considerar la estructura atómica de las sustancias)

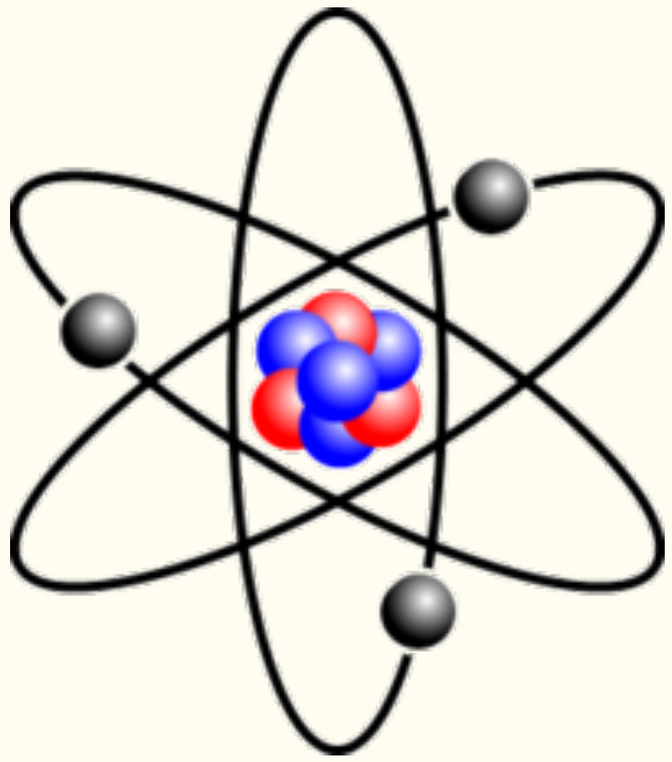
Termodinámica Clásica
Enfoque Macroscópico



casi todo este curso

Termodinámica Estadística
Enfoque Microscópico

(una pizca de este curso)



Experimento

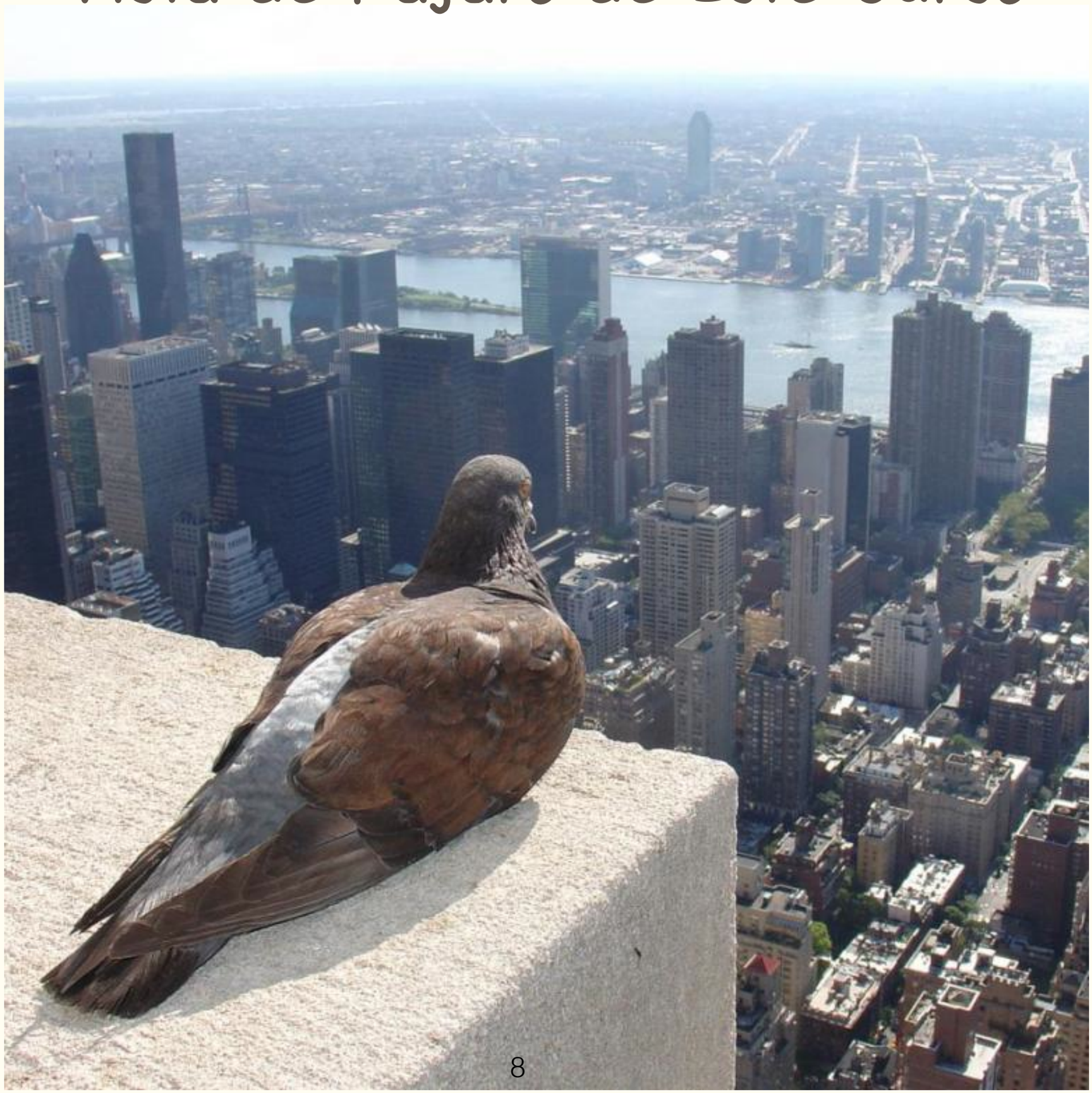
Una de las aplicaciones más importante de la Termodinámica: **convertir calor en trabajo**

Esta es la función de automóviles, aviones, generadores, reactores nucleares, cortadoras de pasto, … (y la función inversa de refrigeradores, sistemas de aire acondicionado… etc).

Para poder entender cómo se puede hacer esto habrá que estudiar (i) cómo se comportan las sustancias al recibir o perder calor, (ii) las diferentes formas de energía y su conservación, (iii) las limitantes en la conversión de calor a trabajo, y (iv) las formas prácticas de lograr la conversión (ciclos termodinámicos)



Vista de Pájaro de Este Curso




Ley 0
Dos cuerpos están en equilibrio térmico a la misma temperatura.

Ley 0
Dos cuerpos están en equilibrio térmico a la misma temperatura.

Ley 1
La energía no se crea ni destruye, solo se transforma.

Ejemplos

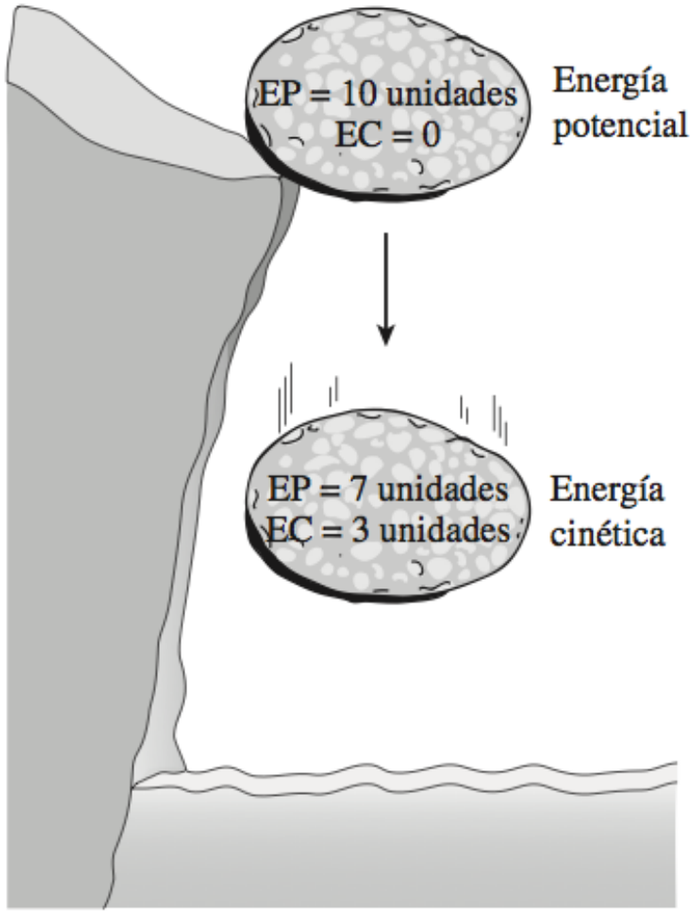


FIGURA 1-1

La energía no se crea ni se destruye; sólo se transforma (primera ley).



(Persona promedio: 2000-3000 kcal/día
Atleta: 7000-10000 kcal/día)

Ley 0
Dos cuerpos están en equilibrio térmico a la misma temperatura.

Ley 1
La energía no se crea ni destruye, solo se transforma.

Ley 2
La energía fluye de tal manera que la entropía aumenta.

Ejemplos



Agua fría en ambiente más caliente



Emisión de Calor al pasar una corriente por una Resistencia

Ley 0
Dos cuerpos están en equilibrio térmico a la misma temperatura.

Ley 1
La energía no se crea ni destruye, solo se transforma.

Ley 2
La energía fluye de tal manera que la entropía aumenta.

Ley 3
La entropía de un compuesto puro, cristalino perfecto es cero a temperatura cero.

Ejemplos de Aplicación de la Termodinámica



Sistemas de refrigeración
©The McGraw-Hill Companies, Inc/fotografía de Jill Braaten



Barcos
© Vol. 5/Photo-Disc/Getty RF



Aeronave y nave espacial
© Vol. 1/Photo-Disc/Getty RF



Plantas eléctricas
©Vol. 57/Photo-Disc/Getty RF



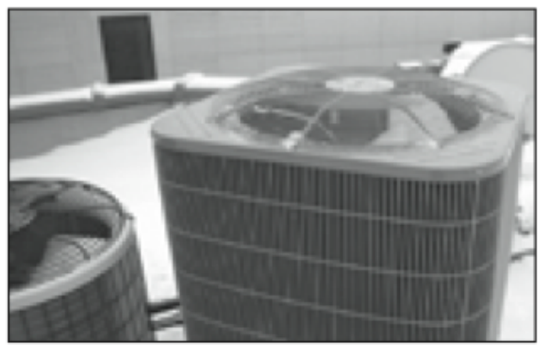
Cuerpo humano
©Vol. 110/Photo-Disc/Getty RF



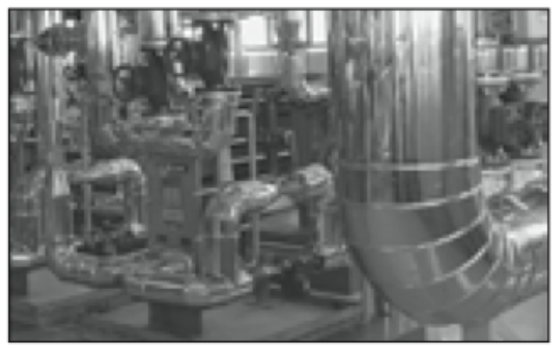
Automóviles
Foto de John M. Cimbala



Turbinas de viento
©Vol. 17/Photo-Disc/Getty RF



Sistemas de aire acondicionado
©The McGraw-Hill Companies, Inc./Foto de Jill Braaten

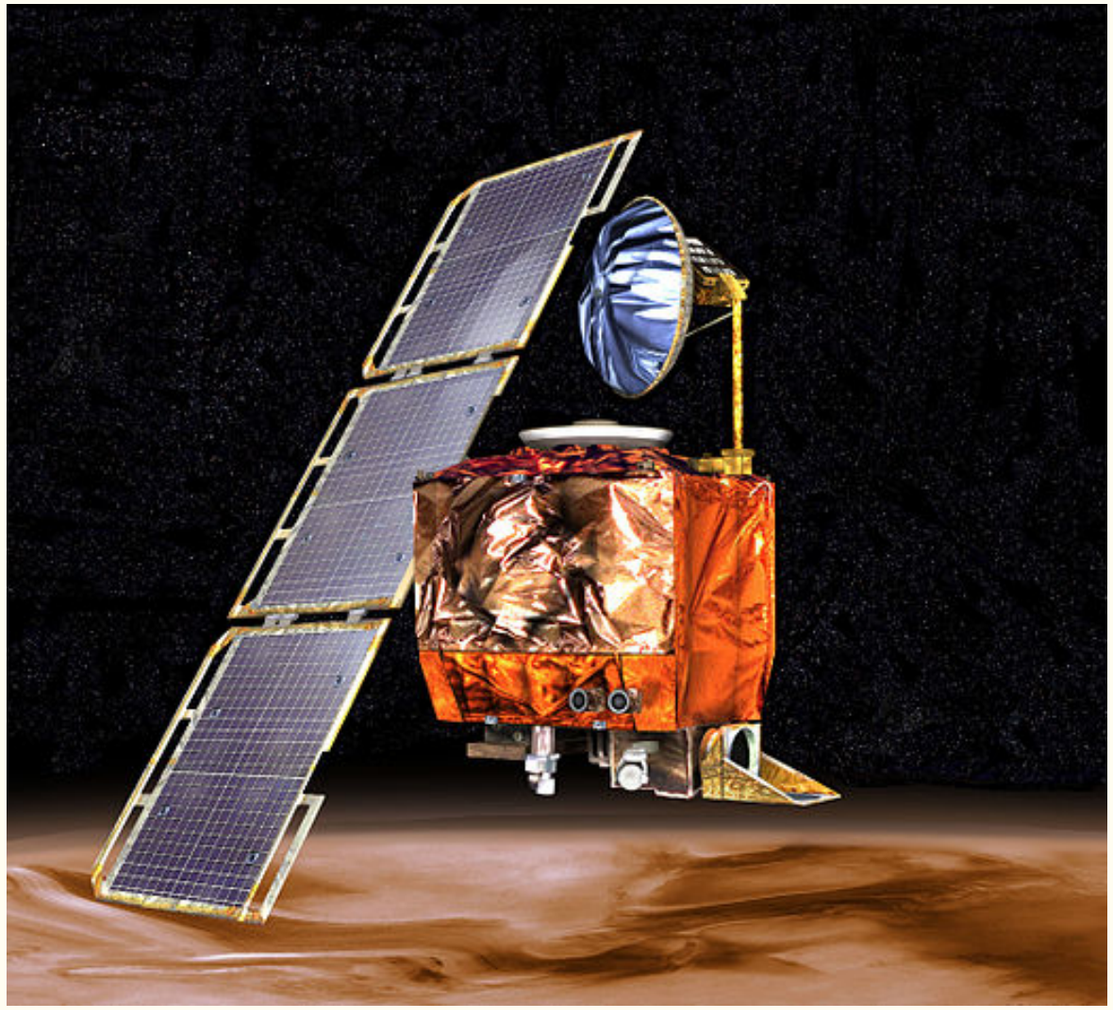


Aplicaciones industriales
Cortesía de UMDE Engineering, Contracting and Trading. Uso autorizado.

FIGURA 1-5
Algunas áreas de aplicación de la termodinámica.

Unas palabras sobre unidades:

1) Durante este curso utilizaremos el sistema internacional de unidades - SI (afortunadamente!)



Mars Climate Orbiter: Ejemplo de un error catastrófico al no convertir bien entre unidades.

http://articles.latimes.com/1999/oct/01/news/mn-17288

2) Siempre hay que verificar que nuestras ecuaciones sean dimensionalmente homogéneas



FIGURA 1-12

Para lograr la homogeneidad dimensional de una ecuación, todos los términos deben tener las mismas unidades.

Ahora veamos un poco de Vocabulario

(seguimos en Capítulo 1 de C&B)

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN Y CONCEPTOS BÁSICOS

Toda ciencia posee un vocabulario único y la termodinámica no es la excepción. La definición precisa de conceptos básicos constituye una base sólida para el desarrollo de una ciencia y evita posibles malas interpretaciones. Este capítulo inicia con un repaso de la termodinámica y los sistemas de unidades y continúa con la explicación de algunos conceptos básicos, como *sistema*, *estado*, *postulado de estado*, *equilibrio* y *proceso*. También se analizan los términos *temperatura* y *escalas de temperatura* con especial énfasis en la Escala Internacional de Temperatura de 1990. Posteriormente se presenta *presión*, definida como la fuerza normal que ejerce un fluido por unidad de área, y se analizan las presiones *absoluta* y *manométrica*, la variación de la presión con la profundidad y los instrumentos de medición de presión, como manómetros y barómetros. El estudio cuidadoso de estos conceptos es esencial para lograr una buena comprensión de los temas tratados en este libro. Por último, se presenta una *técnica para resolver problemas*, intuitiva y sistemática, que se puede usar como modelo en la solución de problemas de ingeniería.

OBJETIVOS

En el capítulo 1, los objetivos son:

- Identificar el vocabulario específico relacionado con la termodinámica por medio de la definición precisa de conceptos básicos con la finalidad de formar una base sólida para el desarrollo de los principios de la termodinámica.
- Revisar los sistemas de unidades SI métrico e inglés que se utilizarán en todo el libro.
- Explicar los conceptos básicos de la termodinámica, como sistema, estado, postulado de estado, equilibrio, proceso y ciclo.
- Revisar los conceptos de temperatura, escalas de temperatura, presión y presiones absoluta y manométrica.
- Introducir una técnica intuitiva y sistemática para resolver problemas.

¿Cúal es el elemento de estudio de la Termodinámica?

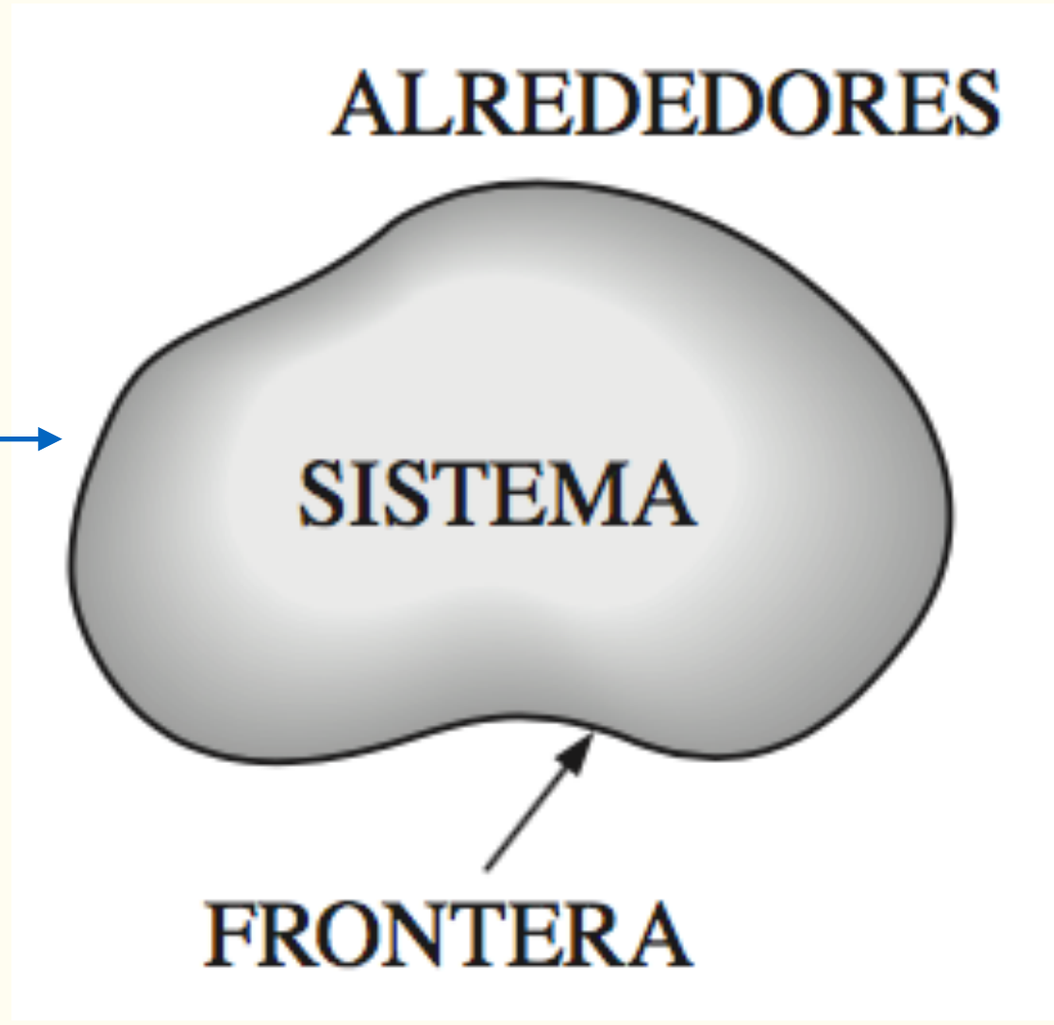
Un sistema termodinámico compuesto de una cantidad de materia isótropa, pura y continua

Vamos a ignorar reacciones químicas, campos externos, y la naturaleza atómica de las sustancias

¿Qué es un sistema termodinámico?

Es la parte del Universo que nos interesa (que queremos analizar)

El sistema puede intercambiar masa y/o energía con los alrededores.

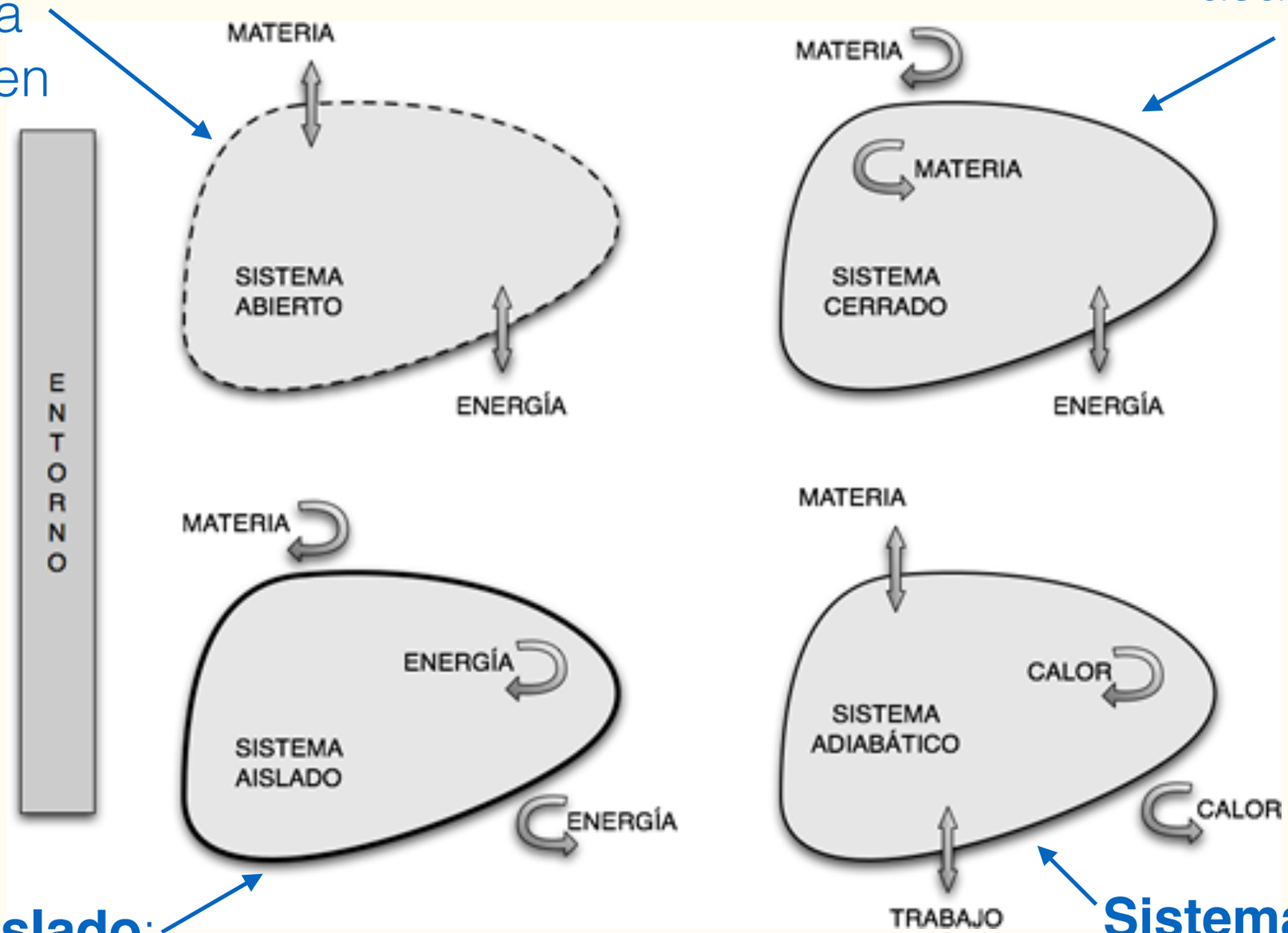


Nota: la frontera (o pared) puede ser fija o móvil

Tipos de Sistemas

Sistema abierto: tanto energía como masa entran y salen

Sistema cerrado: masa no entra ni sale



Sistema aislado: energía y masa no entran ni salen

Sistema adiabático: calor no entra ni sale (pero otras formas de energía sí)

¿Entonces debemos escoger como el sistema una masa fija o un volumen fijo?

Depende… para sistemas cerrados es mejor tomar una masa fija (se le llama “masa de control”):

Ejemplos de Sistemas Cerrados (masas de control)

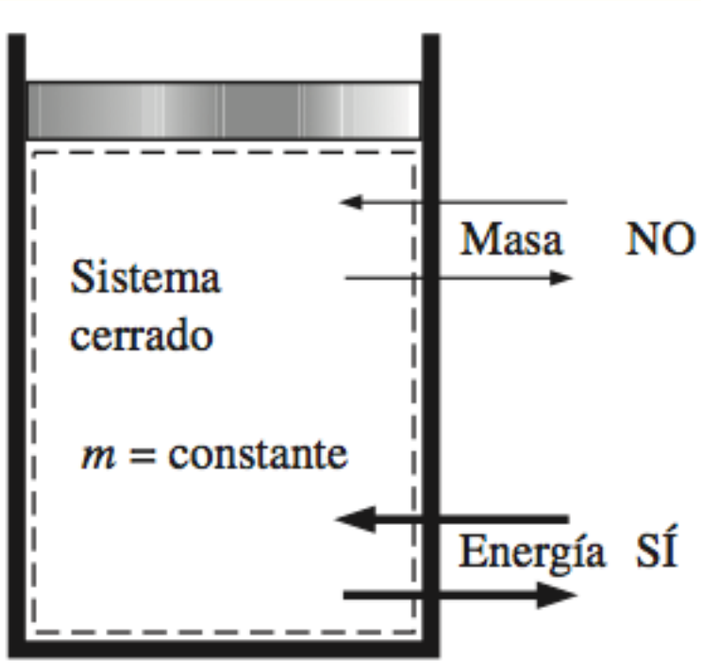


FIGURA 1-20

La masa no puede cruzar las fronteras de un sistema cerrado, pero la energía sí.

La masa no puede cruzar las fronteras de un sistema cerrado, pero la energía sí.

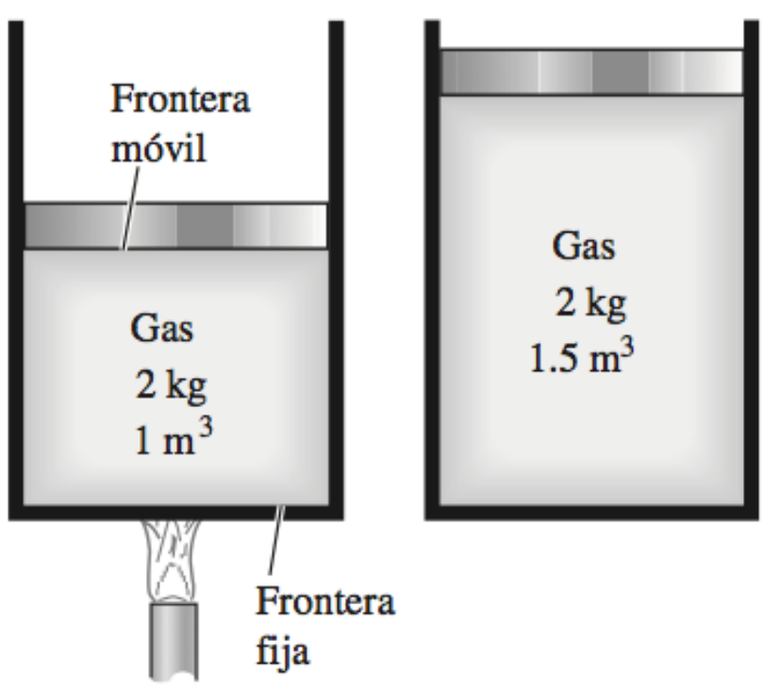


FIGURA 1-21

Un sistema cerrado con una frontera móvil.

Pero para sistemas abiertos (y algunos adiabáticos) es mejor tomar un volumen fijo como el sistema (se le llama "volumen de control"):

Ejemplo de Sistema Abierto (volumen de control) →

Nota: vamos a dedicar dos capítulos enteros a estudiar en detalle ambos tipos de sistemas.

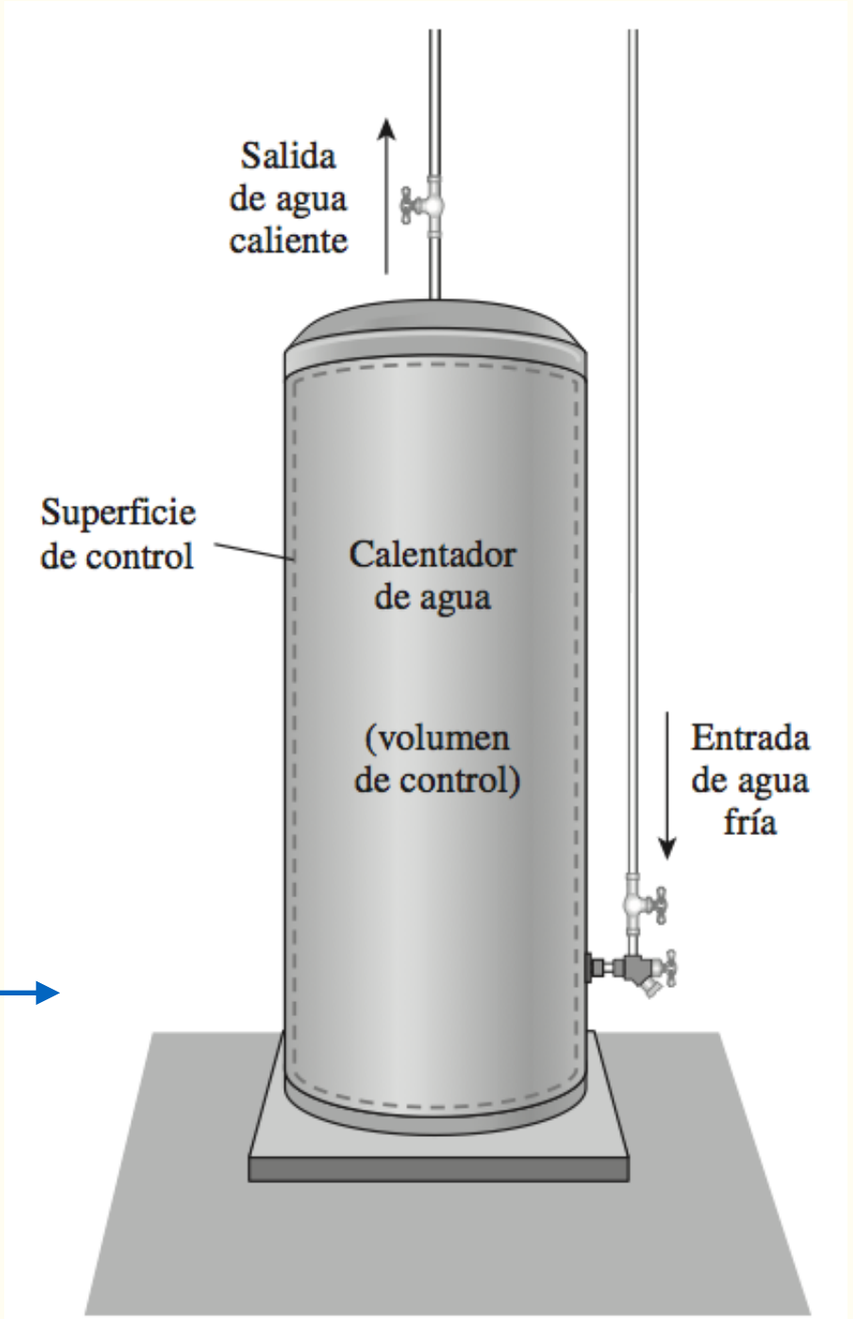


FIGURA 1-23
Un sistema abierto (o volumen de control) con una entrada y una salida.

Ejemplo: en los tres contenedores hay cafe...
¿En cada caso, qué tipo de sistema es?



Propiedades de un Sistema

Un sistema tiene propiedades (masa, presión, temperatura, volumen… etc). Estas se dividen en dos tipos: intensivas y extensivas

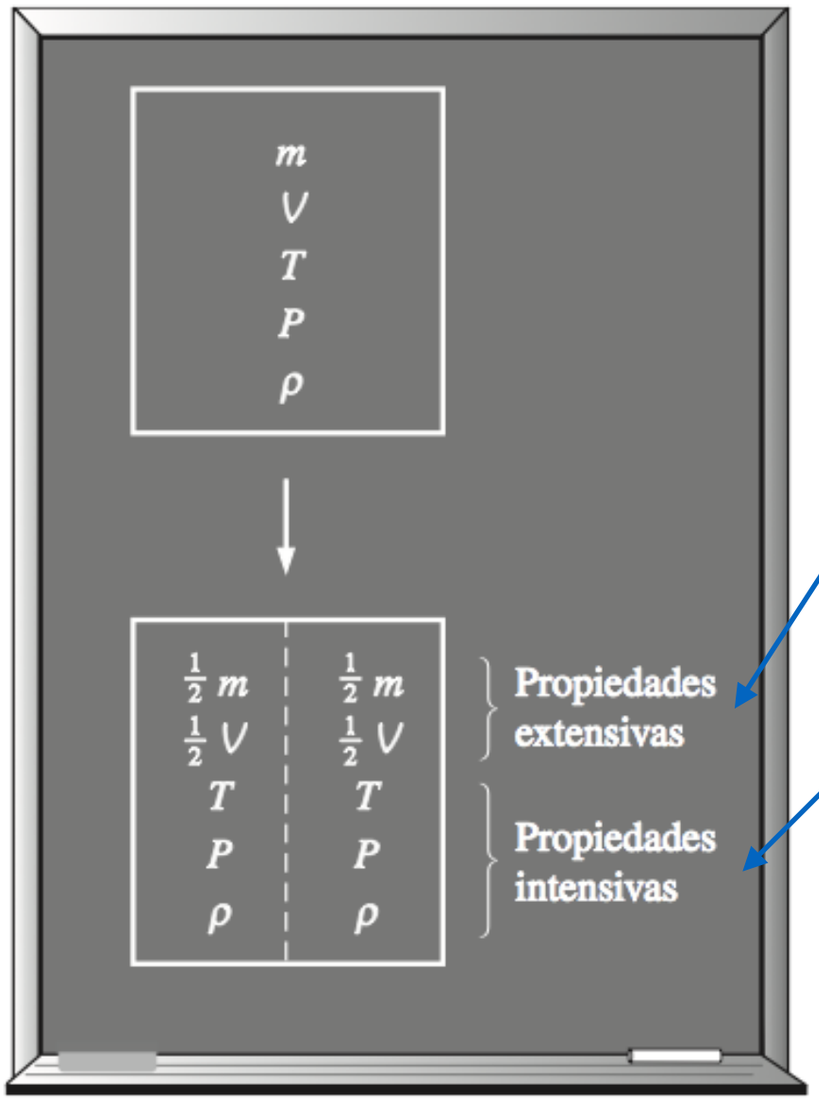


FIGURA 1-24

Criterio para diferenciar propiedades intensivas y extensivas.

Dependen del volumen (extension)

No dependen del volumen

Para determinar si una propiedad es intensiva o extensiva se puede dividir el sistema en dos:

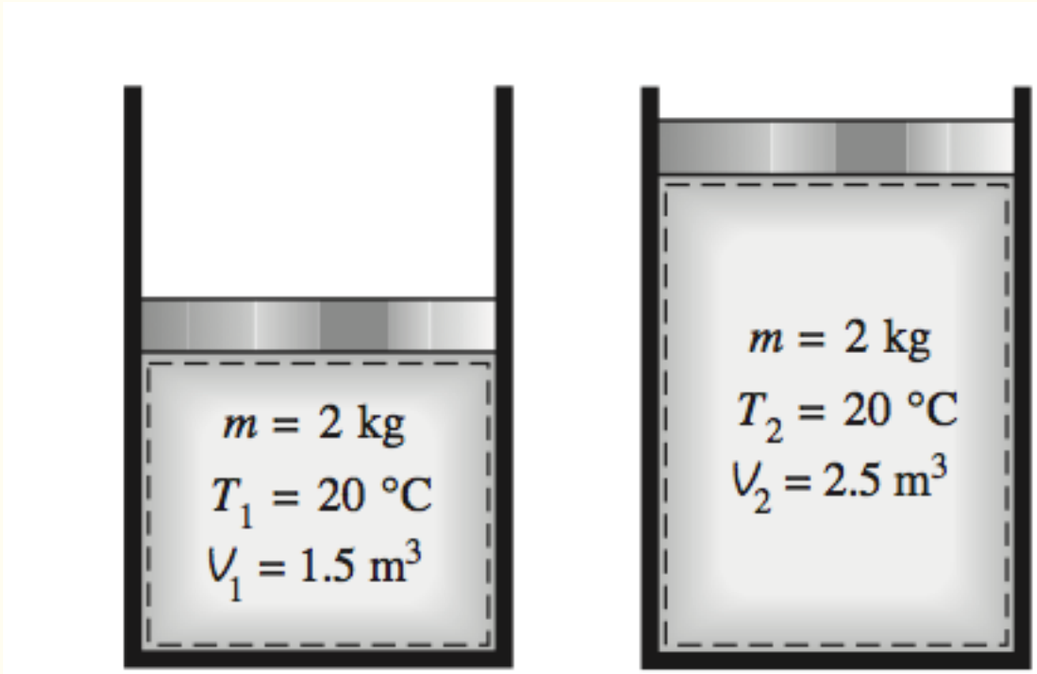
- Intensivas: no cambian
- Extensivas: cambian a la mitad

Las propiedades extensivas por unidad de masa se llaman **propiedades específicas** y son **intensivas** (ejemplo: volumen especifico, o energía específica)

Descripción de un Sistema

El conjunto de valores que tomen las propiedades del sistema determina el estado en el que se encuentra:

Estado Termodinámico: la condición de un sistema, descrito por el conjunto de sus propiedades



a) Estado 1 *b*) Estado 2

FIGURA 1-27

Un sistema en dos estados diferentes.

Lección Importante:

¿Cúantas propiedades se requieren para fijar el estado de un sistema?

Para un sistema compresible simple: 2 intensivas





FIGURA 1-29

El estado del nitrógeno se fija mediante dos propiedades intensivas independientes.

¡¡Es clave tener esto en mente a lo largo del curso, y sobre todo cuanto utilicemos las tablas termodinámicas!!

Nota: prácticamente todos los sistemas que veremos en el curso satisfacen esto

¿Y a mí qué?

¿Por qué es importante esto?

Ejemplo de tabla termodinámica → que veremos más adelante

TABLE A–6

Superheated water

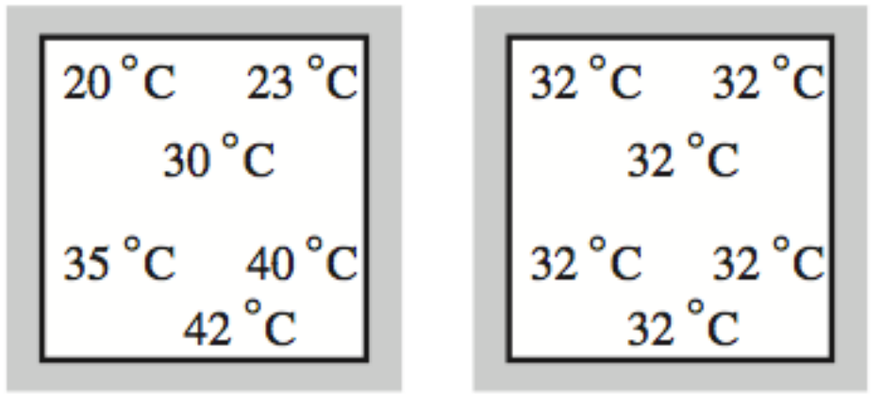
T °C	*v* m³/kg	*u* kJ/kg	*h* kJ/kg	*s* kJ/kg · K	*v* m³/kg	*u* kJ/kg	*h* kJ/kg	*s* kJ/kg · K	*v* m³/kg	*u* kJ/kg	*h* kJ/kg	*s* kJ/kg · K
	P = 0.01 MPa (45.81°C)*				*P* = 0.05 MPa (81.32°C)				*P* = 0.10 MPa (99.61°C)			
Sat.†	14.670	2437.2	2583.9	8.1488	3.2403	2483.2	2645.2	7.5931	1.6941	2505.6	2675.0	7.3589
50	14.867	2443.3	2592.0	8.1741								
100	17.196	2515.5	2687.5	8.4489	3.4187	2511.5	2682.4	7.6953	1.6959	2506.2	2675.8	7.3611
150	19.513	2587.9	2783.0	8.6893	3.8897	2585.7	2780.2	7.9413	1.9367	2582.9	2776.6	7.6148
200	21.826	2661.4	2879.6	8.9049	4.3562	2660.0	2877.8	8.1592	2.1724	2658.2	2875.5	7.8356
250	24.136	2736.1	2977.5	9.1015	4.8206	2735.1	2976.2	8.3568	2.4062	2733.9	2974.5	8.0346
300	26.446	2812.3	3076.7	9.2827	5.2841	2811.6	3075.8	8.5387	2.6389	2810.7	3074.5	8.2172
400	31.063	2969.3	3280.0	9.6094	6.2094	2968.9	3279.3	8.8659	3.1027	2968.3	3278.6	8.5452
500	35.680	3132.9	3489.7	9.8998	7.1338	3132.6	3489.3	9.1566	3.5655	3132.2	3488.7	8.8362
600	40.296	3303.3	3706.3	10.1631	8.0577	3303.1	3706.0	9.4201	4.0279	3302.8	3705.6	9.0999
700	44.911	3480.8	3929.9	10.4056	8.9813	3480.6	3929.7	9.6626	4.4900	3480.4	3929.4	9.3424
800	49.527	3665.4	4160.6	10.6312	9.9047	3665.2	4160.4	9.8883	4.9519	3665.0	4160.2	9.5682
900	54.143	3856.9	4398.3	10.8429	10.8280	3856.8	4398.2	10.1000	5.4137	3856.7	4398.0	9.7800
1000	58.758	4055.3	4642.8	11.0429	11.7513	4055.2	4642.7	10.3000	5.8755	4055.0	4642.6	9.9800
1100	63.373	4260.0	4893.8	11.2326	12.6745	4259.9	4893.7	10.4897	6.3372	4259.8	4893.6	10.1698
1200	67.989	4470.9	5150.8	11.4132	13.5977	4470.8	5150.7	10.6704	6.7988	4470.7	5150.6	10.3504
1300	72.604	4687.4	5413.4	11.5857	14.5209	4687.3	5413.3	10.8429	7.2605	4687.2	5413.3	10.5229

Significa que **si conozco 2 propiedades intensivas, conozco el resto**; esto lo iremos viendo con detalle conforme avancemos.

En otras palabras, una vez especificadas 2 propiedades intensivas, el resto asume automáticamente ciertos valores

Termodinámica y Equilibrio

A lo largo del curso será útil recordar que la Termodinámica sólo trata con **sistemas en equilibrio**



a) Antes *b*) Después

FIGURA 1-28

Un sistema cerrado que alcanza el equilibrio térmico.

Tipos de equilibrio: térmico (misma temperatura en todos los puntos), mecánico (no hay cambio de presión en ningún punto con el tiempo), químico (misma composición en todos los puntos y estable en el tiempo) y de fase (masa de cada fase no cambia).

Para que un sistema esté en equilibrio termodinámico se deben cumplir todas estas condiciones

Nota: otra forma de definir el equilibrio mecánico es que, si se ignoran los efectos causados por la gravedad (presión hidrostática), la presión es la misma en todos los puntos

¿O sea que en termodinámica no podemos estudiar un sistema termodinámico que cambie con el tiempo?

Falso… ¡sí podemos!

Pero sólo podremos lidiar con procesos **cuasiestáticos** o de **cuasiequilibrio**: procesos lo suficientemente lentos de tal forma que las propiedades de sus partes cambian juntas y todo el tiempo el sistema permanece cerca del equilibrio

<u>Definición</u>:
Proceso = cambio de un estado de equilibrio a otro →

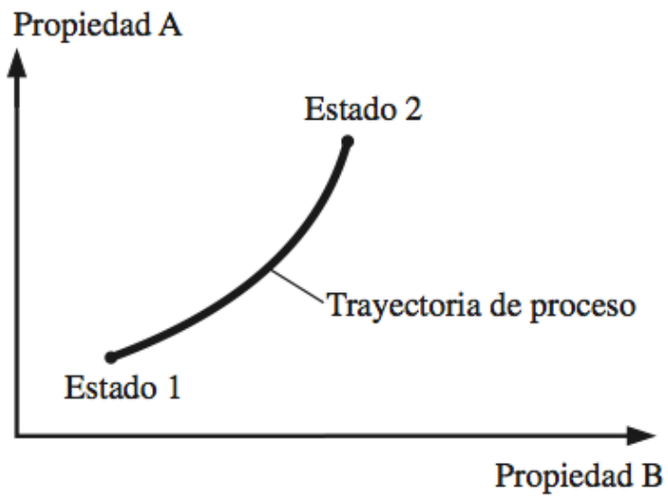
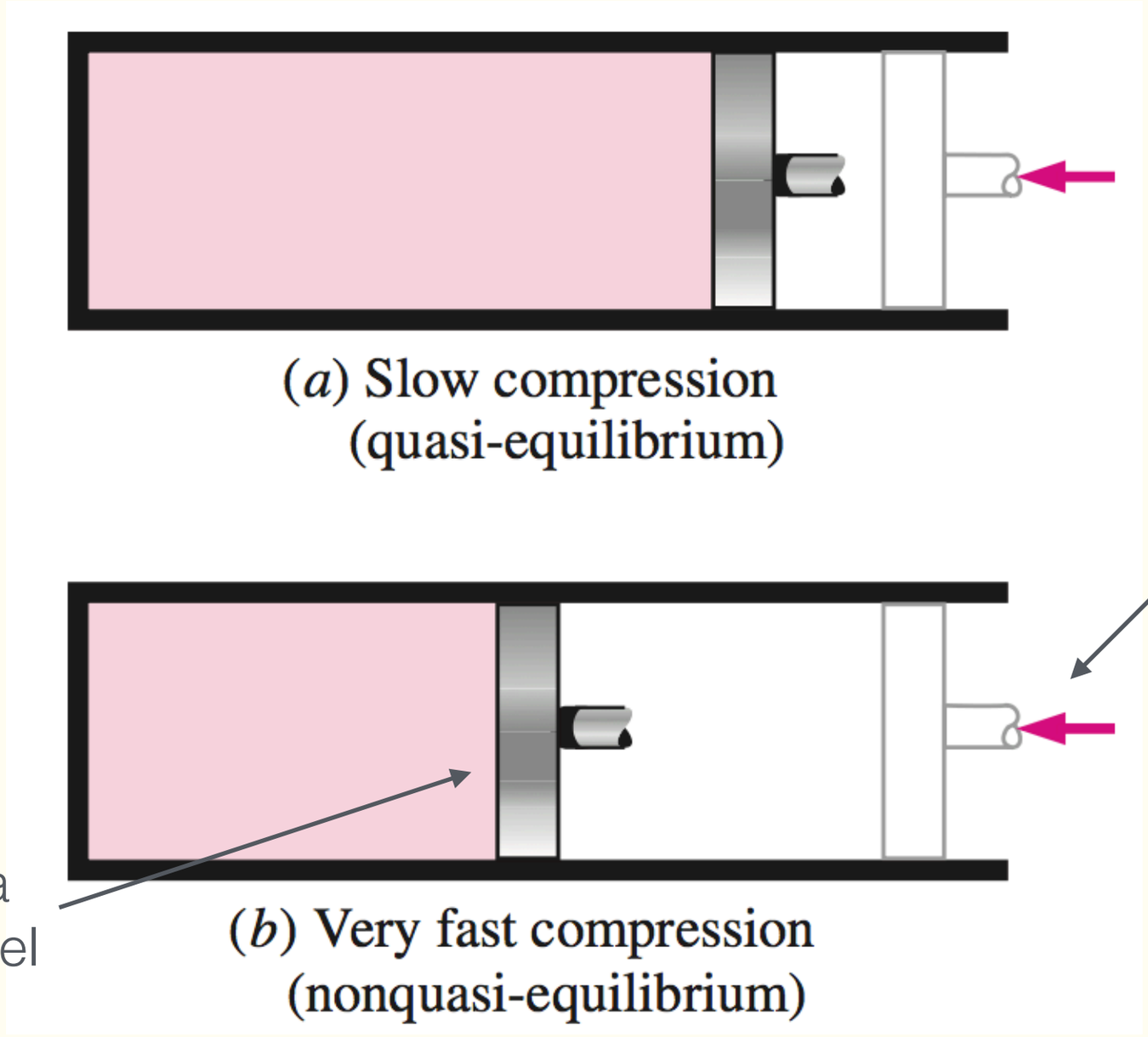


FIGURA 1-30
Un proceso entre los estados 1 y 2 y la trayectoria del proceso.

¿Ejemplo de un proceso no cuasiestático?



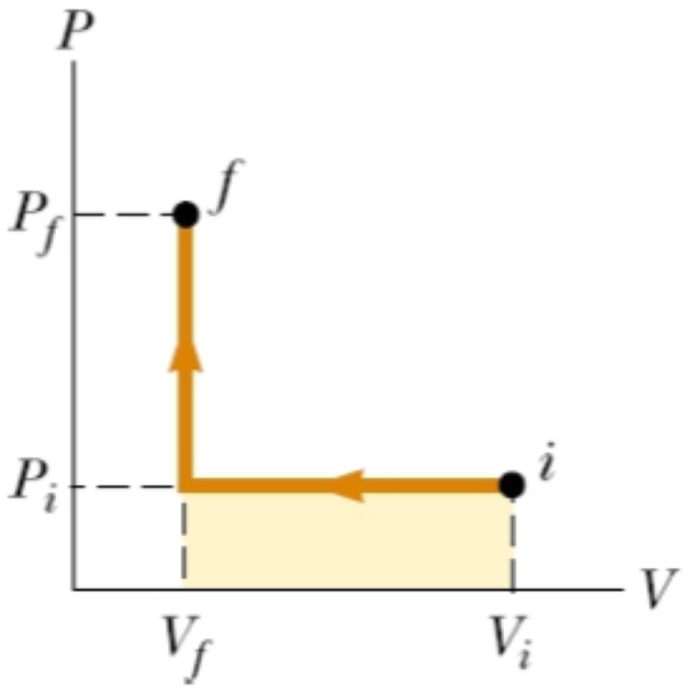
(*a*) Slow compression (quasi-equilibrium)

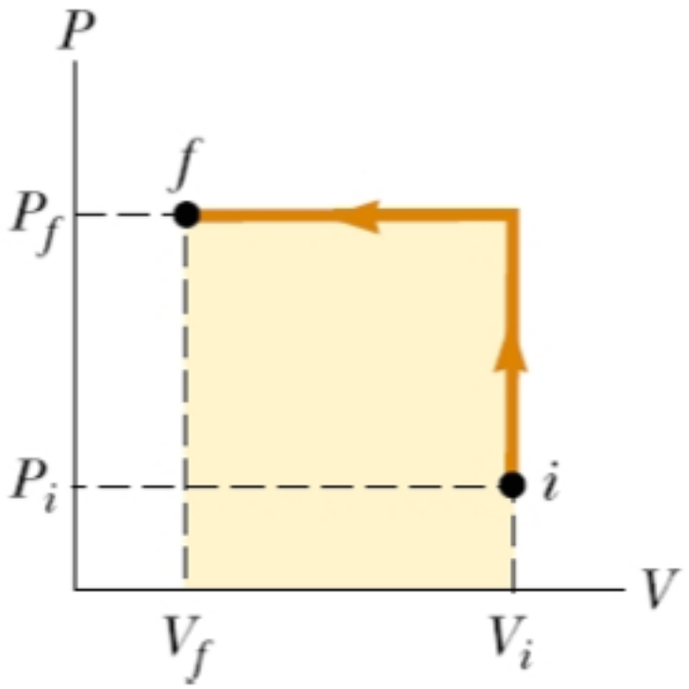
(*b*) Very fast compression (nonquasi-equilibrium)

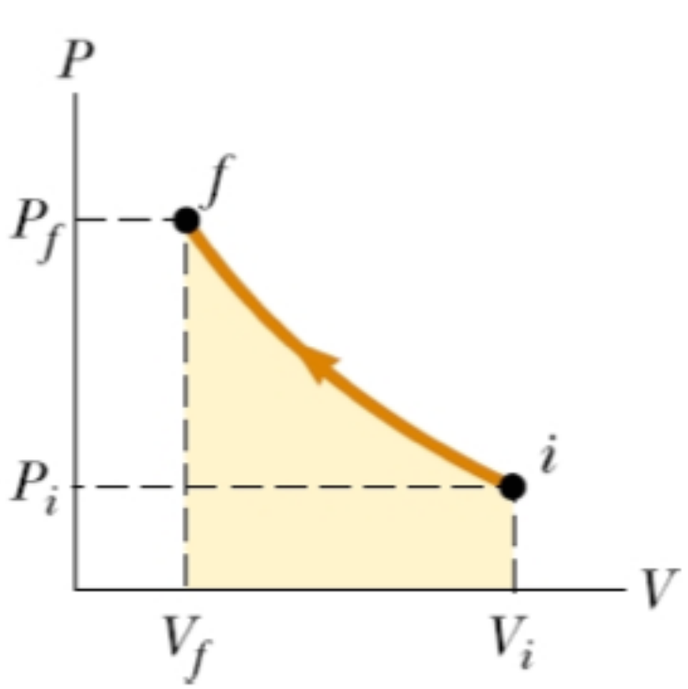
La presión sería más alta cerca del pistón que en otras partes del gas

Al intentar aplicar las leyes que veremos en este curso a casos como éste nos daríamos cuenta de una gran dificultad: no podemos ni siquiera definir el estado termodinámico, ya que no hay una sola presión, sino varias.

Definición: Tipos de Procesos Termodinámicos







¿Tipos de procesos termodinámicos?

- Isotérmico (T constante)
- Isobárico (P constante)
- Isocórico o isométrico (V constante)
- Adiabático (no hay intercambios de calor)

(también pueden ser reversibles o irreversibles; veremos todo esto en detalle más adelante)

Ahora hablemos de algunas variables de estado básicas. Comencemos con **presión**.

(Blaise Pascal, 1623-1662) →



(Secciones 1.9-1.11 del Cengel)

Presión

¿Qué es la presión?

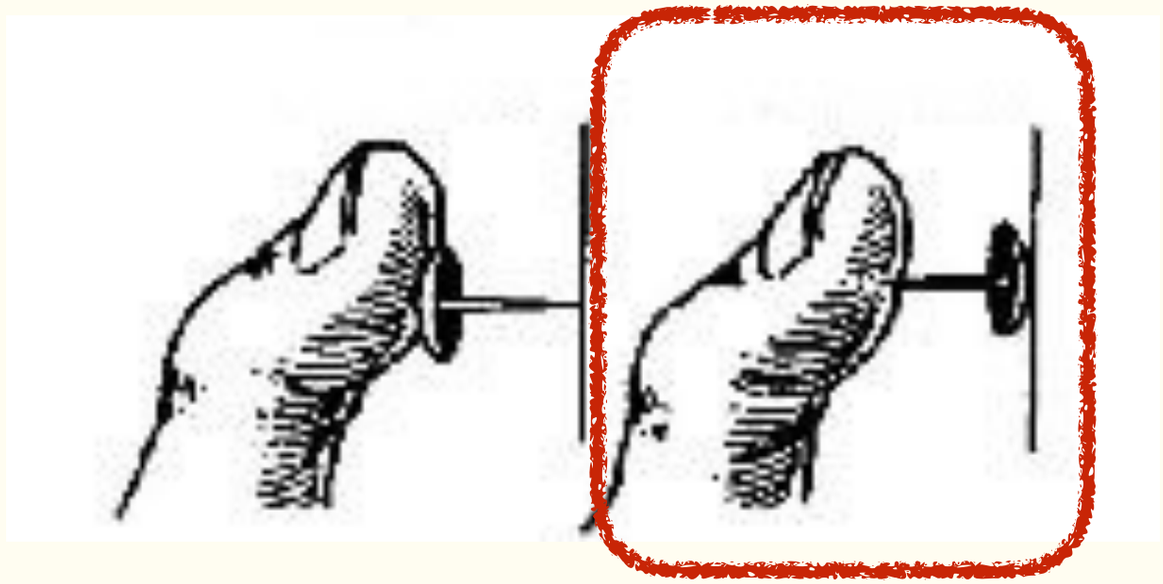
Fuerza (normal) por unidad de area:

$$P = \frac{\text{fuerza}}{\text{área}} = \frac{dF_n}{dA}$$

Pascales

$$\left[\frac{N}{m^2} = Pa \right]$$

¿En cúal de estos dos casos se alcanza una mayor presión sobre el dedo (suponiendo que la fuerza es la misma)?



Experimento #1

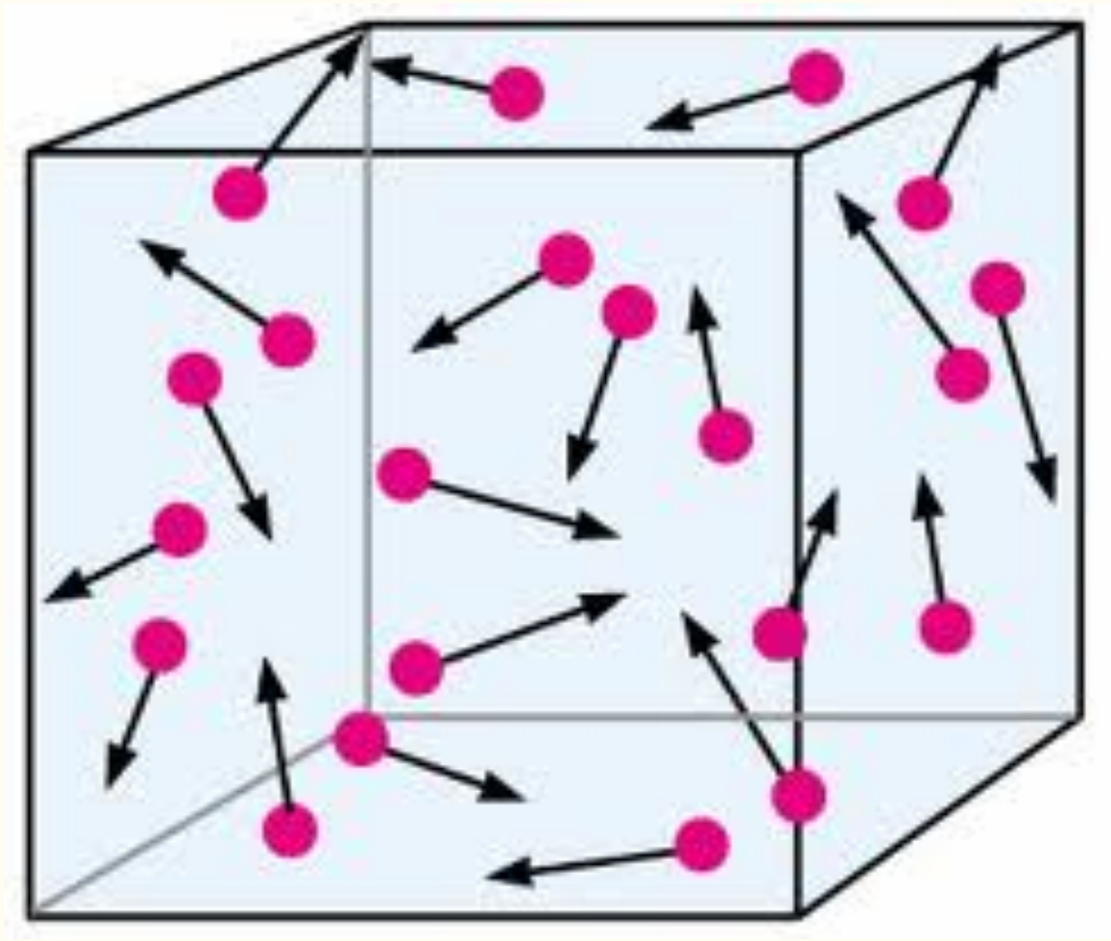


¿Por qué tiene presión un gas?

Si tenemos un gas encerrado en una caja (con vacío afuera), ¿el gas ejerce una presión sobre las paredes?

¡Si!

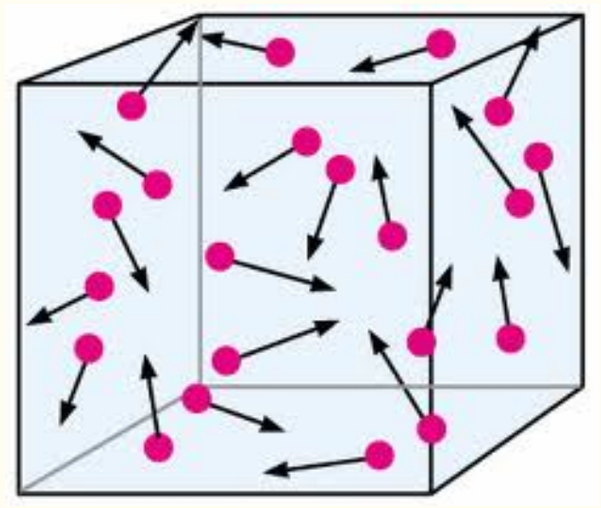
¿por qué?



Las partículas de gas son como “pelotitas” libres que van en todas direcciones. Los choques constantes con los bordes de la caja producen una fuerza neta (presión) sobre estas.

Y si tomo un punto dentro de la caja, ¿hay una presión ahí?

¡Si!



- ¿Por qué? Por la misma razón… colisiones de partículas que vienen en todas direcciones

- ¿Tiene la misma magnitud que la presión que sienten los bordes? Sí.

- ¿Es un vector? No, es un escalar. Los choques vienen de todas direcciones causando un efecto neto de compresión (por ejemplo, si pusiera una pelota de ping-pong se comprimiría). La presión dentro de un gas siempre tiende a “comprimir”, o “apachurrar”

- ¿Qué pasaría si la caja estuviera inmersa en un gas con la misma presión? La presión en las paredes se cancelaría.

- ¿Por qué es decimos que la presión es una fuerza “normal”? Porque ya sea con las paredes o con un objeto dentro (e.g. pelota de ping pong), la fuerza neta causada por las colisiones es normal a la superficie

Experimento #2

Dos lecciones importantes del experimento:

- Al momento de diseñar un sistema con líquidos y/o gases, es crucial asegurarse que las paredes puedan aguantar la presión!!
- Cuando un compuesto pasa de sólido (o líquido) a gas, quiere ocupar mucho más espacio del que ocupaba antes (esto lo veremos con más detalle cuando lleguemos a cambio de fase)

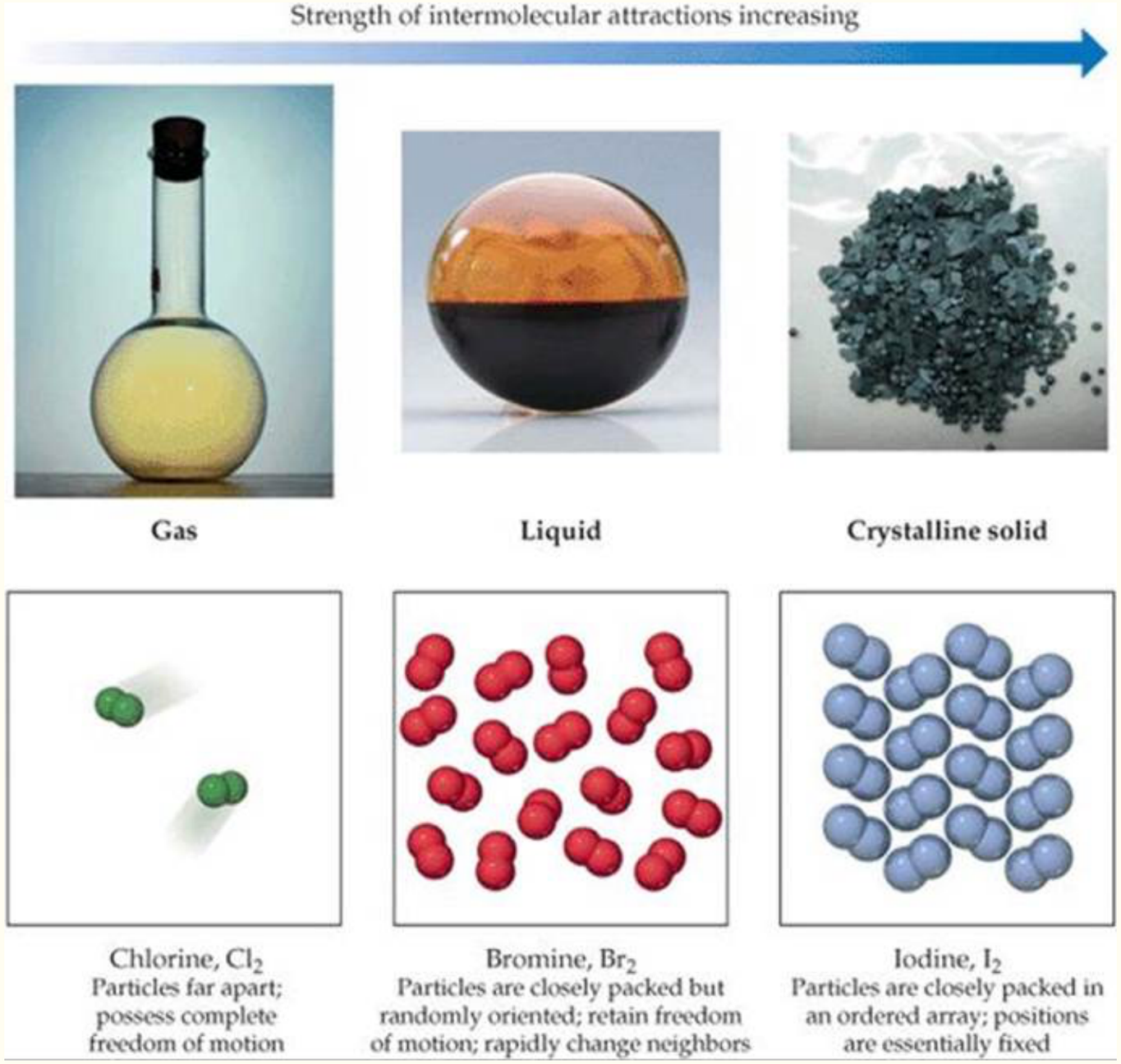


Líquidos y Presión

¿Los líquidos también tienen presión? **¡Si!**

La razón es la misma: en un líquido las partículas (moléculas) también se mueven en todas direcciones.

La diferencia sin embargo es que en un líquido las partículas están mucho más cerca unas de otras (la densidad es mucho mayor), ya que tienen menor energía



Presión y profundidad

Al lidiar con presión de líquidos y gases, a menudo hay que considerar otro efecto: **en un campo gravitacional, la presión se incrementa con la profundidad**

Esto se debe simplemente a que un "elemento de fluido" abajo tiene que soportar todo el peso de la columna de fluido arriba de él.

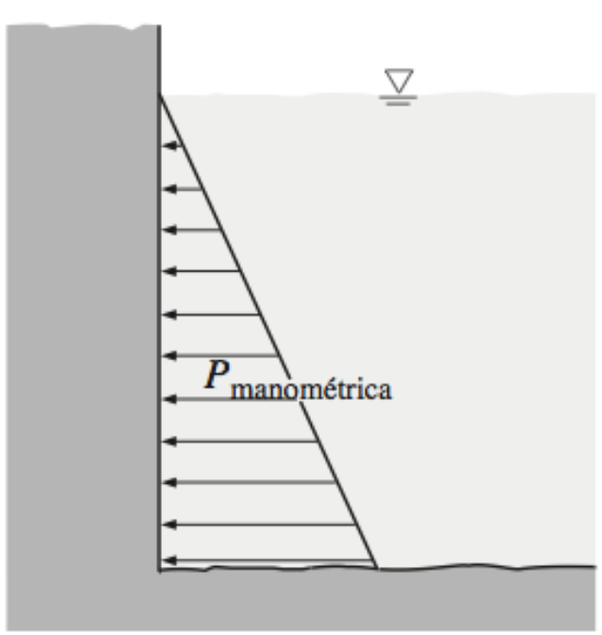


FIGURA 1-43

La presión de un fluido en reposo aumenta con la profundidad (como resultado del peso agregado).

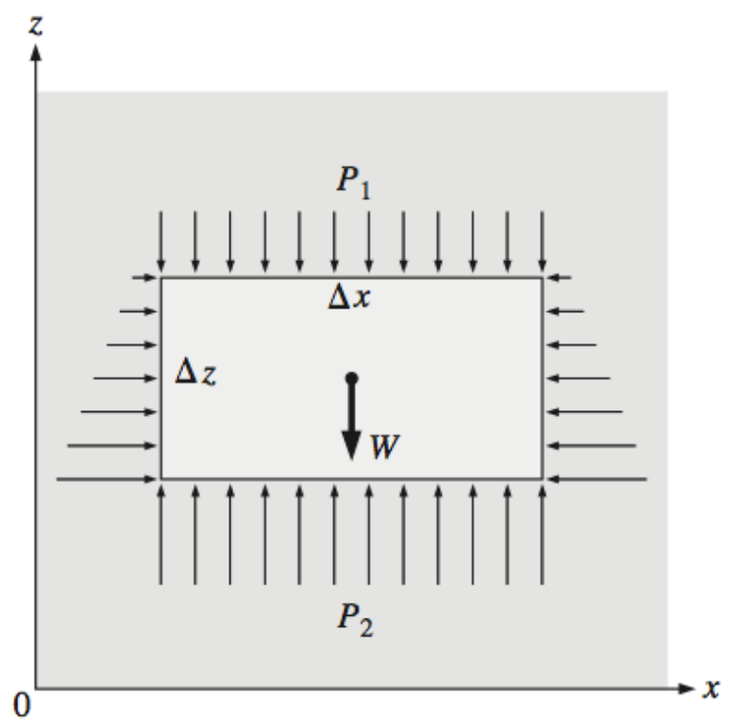


FIGURA 1-44

Diagrama de cuerpo libre de un elemento de fluido rectangular en equilibrio.

La demostración se hace considerando el "pedazo de fluido" de dimensiones Δx,Δy y Δz y haciendo el balance de fuerzas:

$$\sum F_z = ma_z = 0 \rightarrow P_2\Delta x\Delta y - P_1\Delta x\Delta y - \rho\Delta x\Delta y\Delta z g = 0 \rightarrow \Delta P = P_2 - P_1 = \rho g\Delta z$$

Presión y profundidad

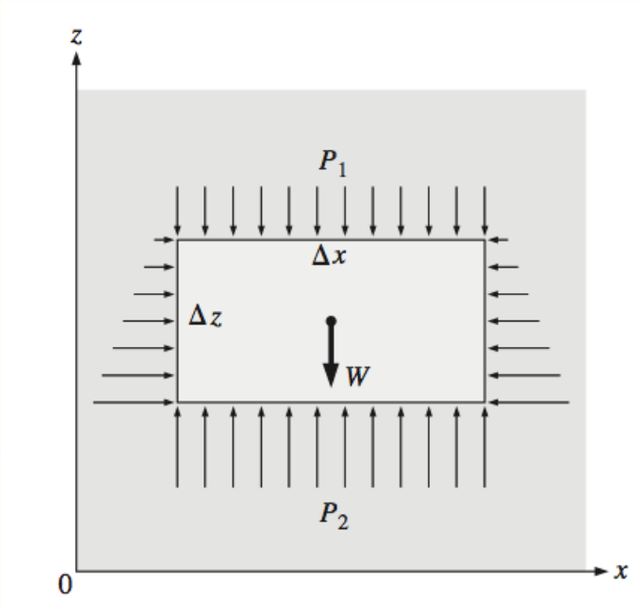
Del cálculo anterior concluimos que: $P_{hidro} = \rho g h$

Presión hidrostática = presión debida <u>únicamente</u> al efecto de la gravedad

densidad del fluido

profundidad

Por cierto, la diferencia de presiones (P_1 y P_2) para un cuerpo sólido en un líquido es lo que lo hace flotar (**Principio de Arquímedes**)



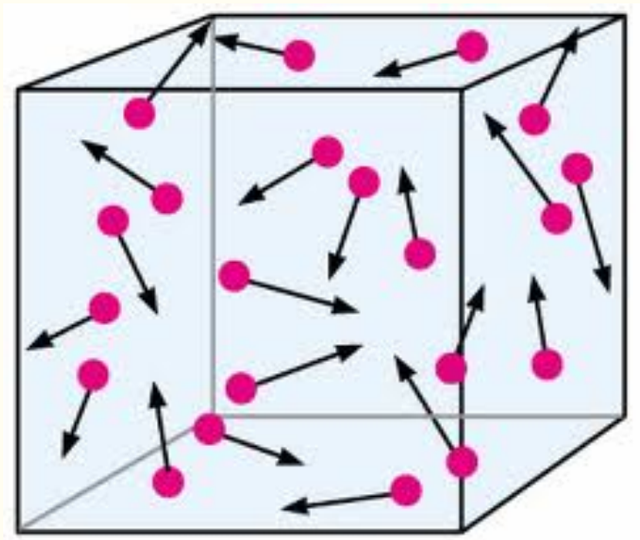


(es fácil demostrar a partir de esta ecuación que para que un objeto no se hunda necesita ser menos denso que el fluido en el que se encuentra)

Dirección de la Presión Hidrostática

¿La presión hidrostática también se siente como compresión en todas direcciones, o se siente más hacia abajo?

¡en todas direcciones!



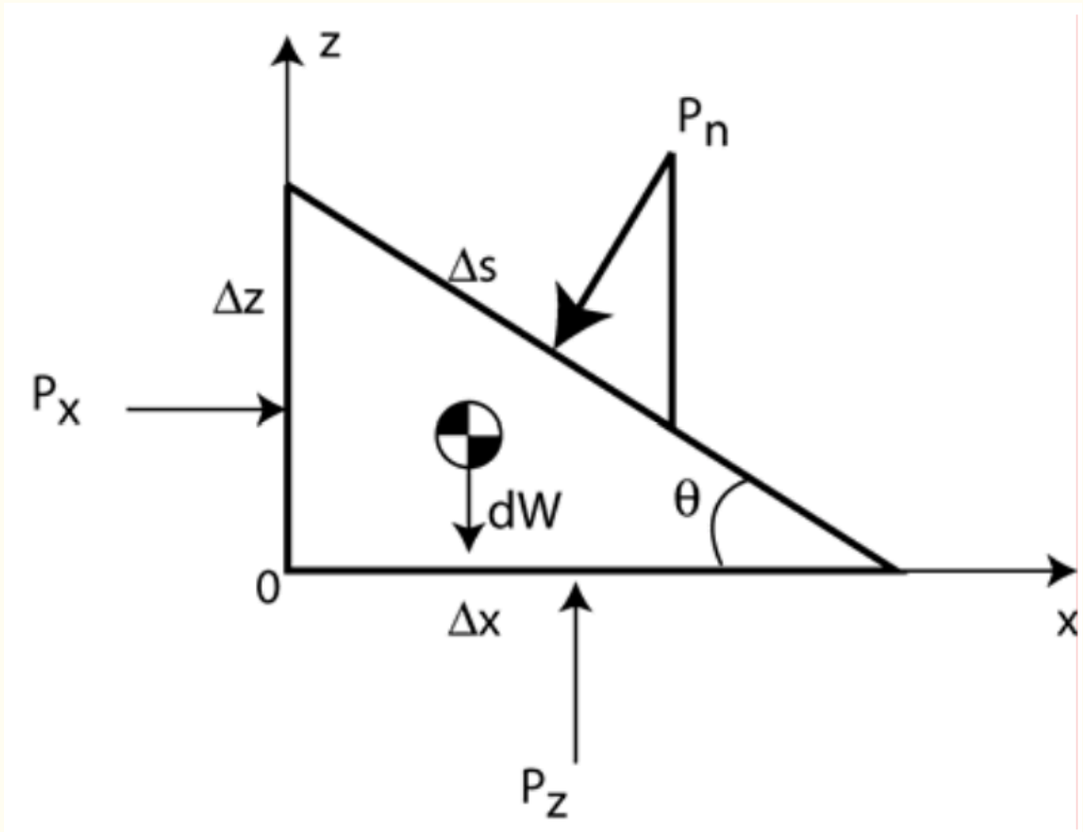
<u>Explicación</u>: En un fluido las partículas están en movimiento continuo, en todas direcciones. Mismo si imparto un impulso a algunas partículas en una dirección definida, ese efecto rápidamente pierde la dirección inicial dadas las colisiones con las otras partículas y se transmite a todas las direcciones

Cabeza de espuma sometida a diferentes profundidades. La presión hidrostática actúa en todas direcciones por igual, reduciendo significativamente el tamaño pero manteniendo las proporciones →



Dirección de la Presión Hidrostática

El hecho que la presión hidrostática actúa en todas las direcciones también se puede demostrar con las leyes de Newton, tomando un pedazo triangular infinitesimal de líquido y asumiendo que está en equilibrio:



. Ver por ejemplo https://ocw.mit.edu/courses/mechanical-engineering/2-016-hydrodynamics-13-012-fall-2005/readings/2005reading2.pdf

Ley de Pascal

Esto a final de cuentas está relacionado con el siguiente principio, descubierto por Blaise Pascal:

Ley de Pascal: la presión ejercida sobre un fluido incompresible dentro de un recipiente rígido y cerrado, se transmite a todos los puntos del mismo con el mismo valor

pero cuidado, si bien la presión P_1 se transmite a todos los puntos del fluido de tal forma que $P_1=P_2$, sigue siendo cierto que la presión hidrostática depende de la profundidad. En otras palabras, la presión total (P_1 más la hidrostática) es mayor en la parte más baja del contenedor. La presión total en los puntos 1 y 2 no sería la misma si no estuvieran a la misma altura

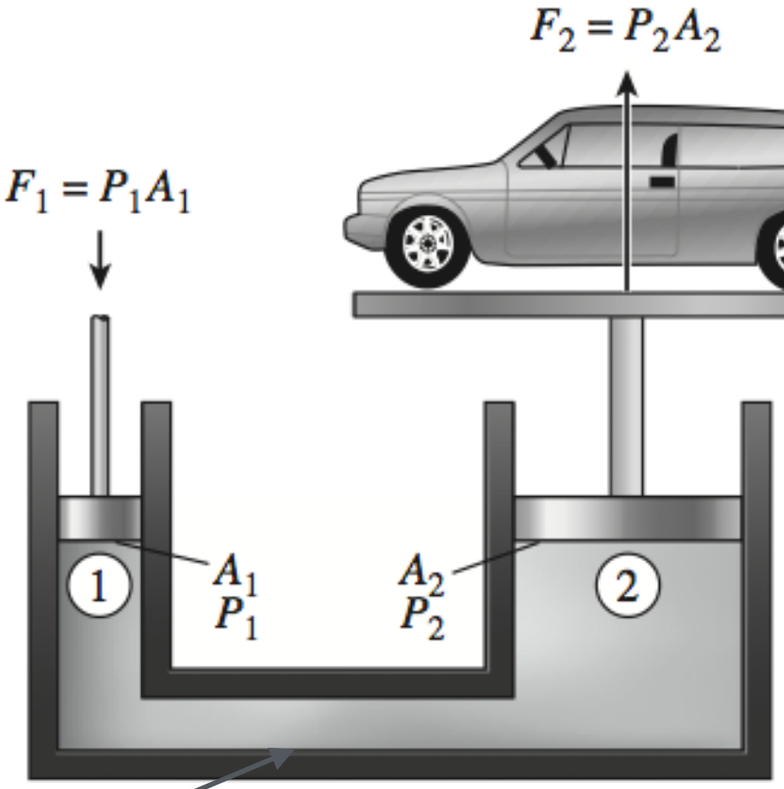
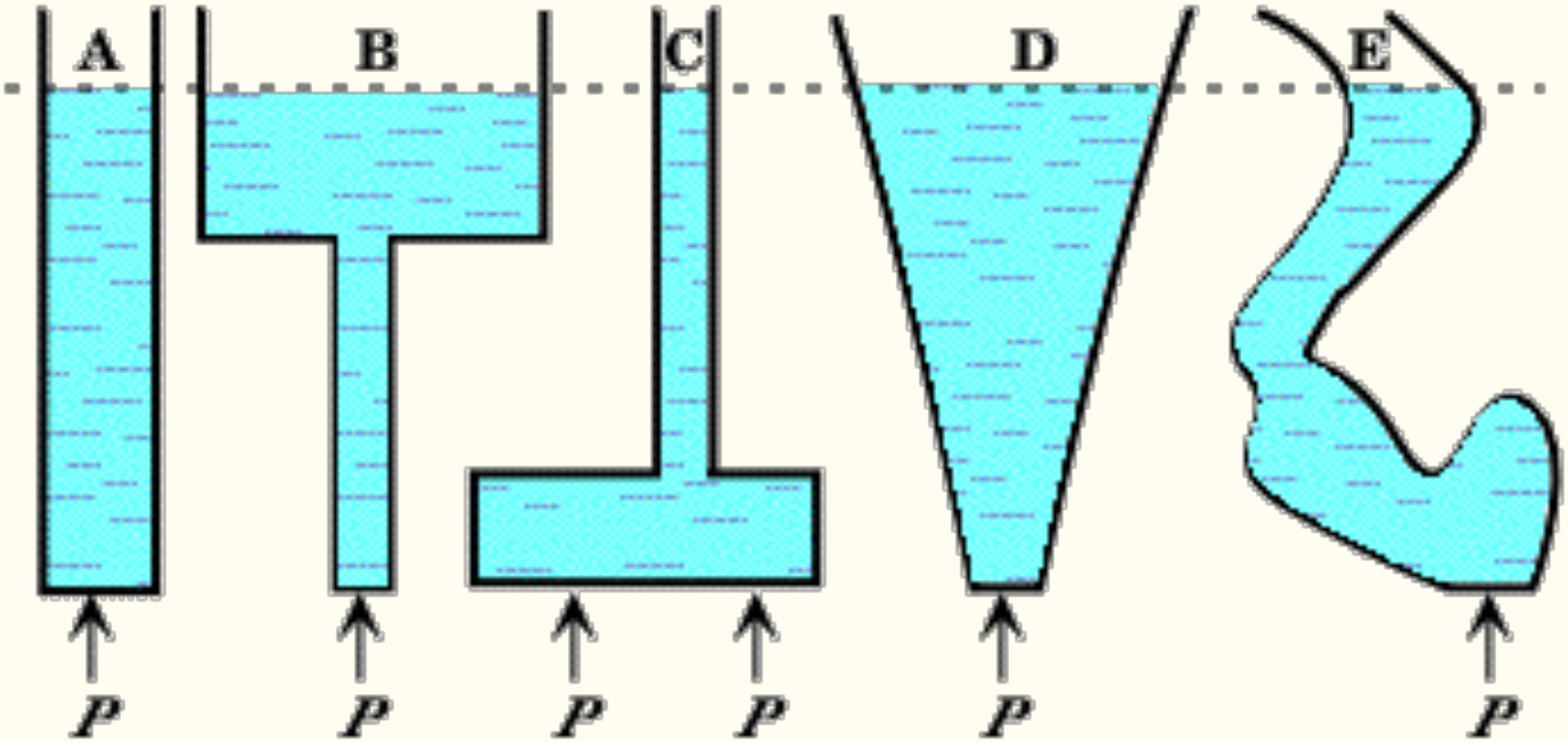


FIGURA 1-48

Elevación de un gran peso mediante una fuerza pequeña con la aplicación de la ley de Pascal.

(demostraremos este principio experimentalmente la próxima clase)

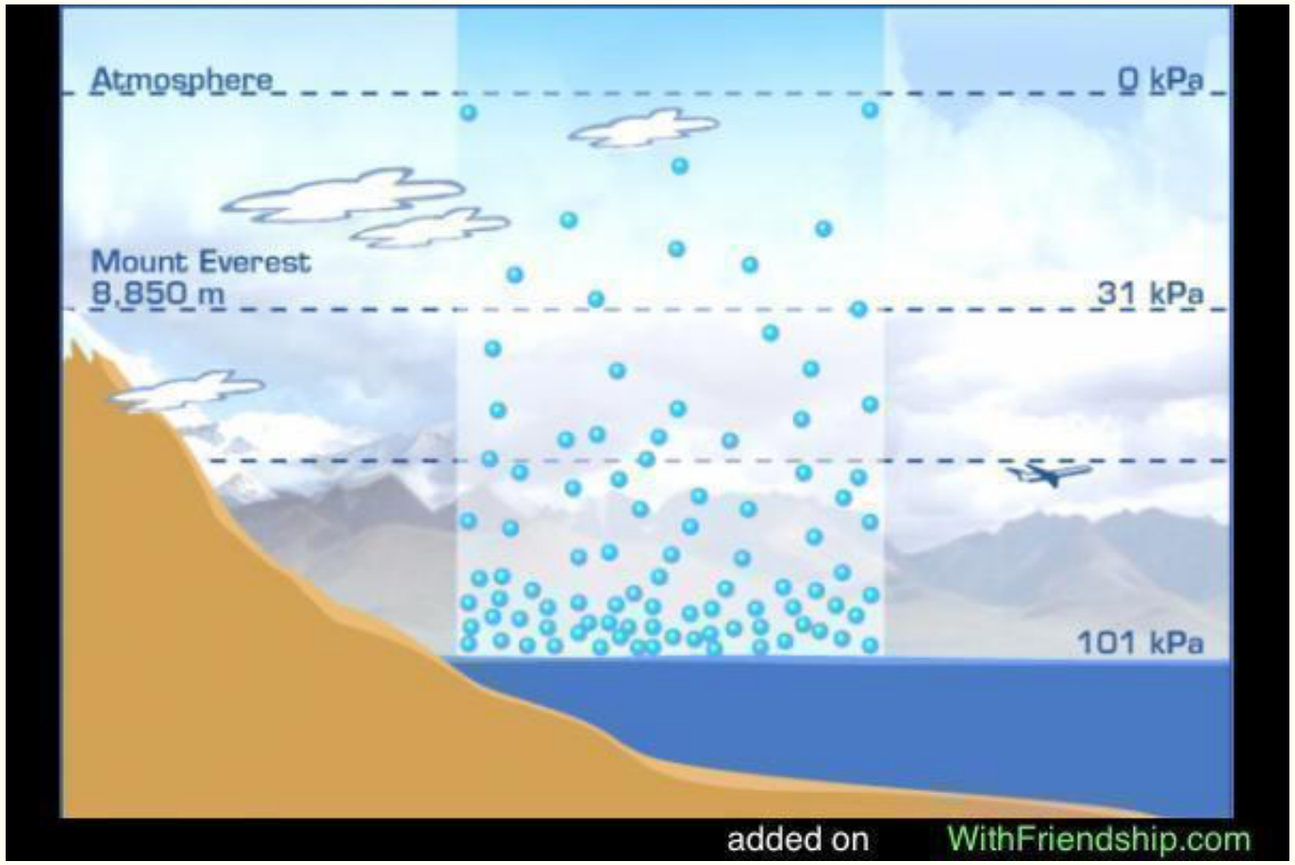
Repaso: ¿cómo se compara la presión del fondo en todos estos casos?

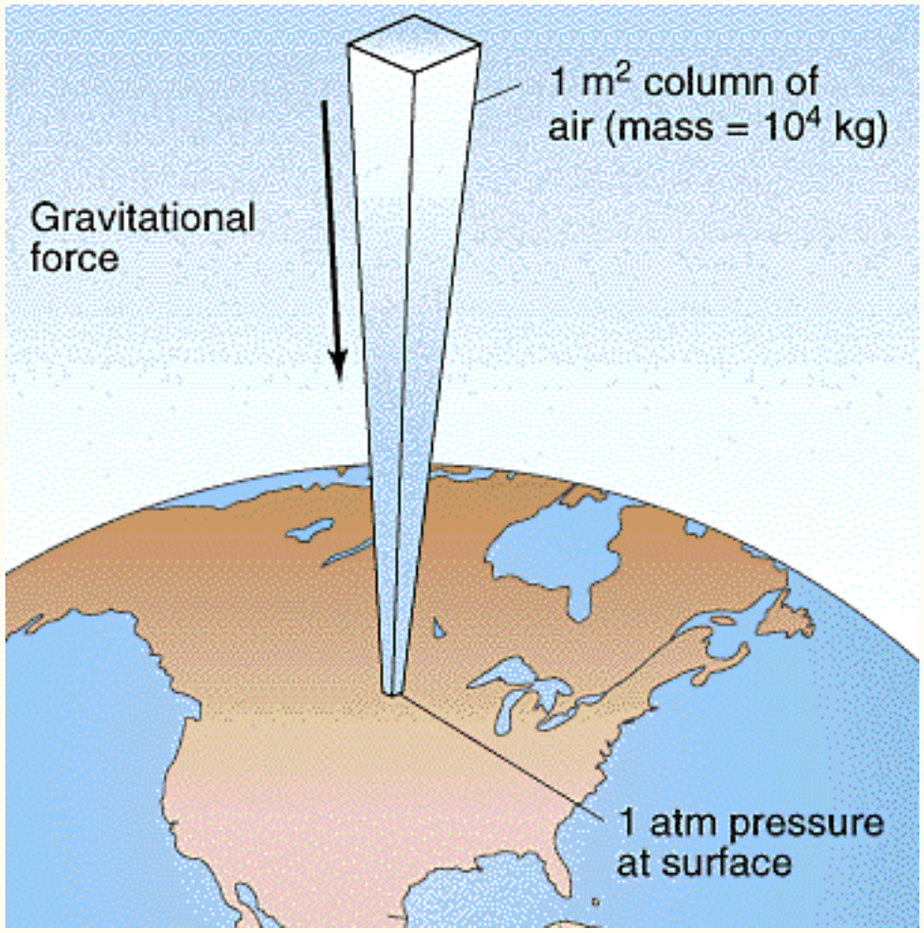


¡Es igual en todos los casos!

Presión Atmosférica

¡Tenemos varias toneladas de aire encima de nosotros! ¿Esto causa una presión apreciable?





¡Sí! Causa una presión **enorme,** igual a $\mathbf{P_{atm} = 101.325\ kPa}$ (a nivel del mar)

Nota: a menudo se utiliza la unidad “atm”, definida como 1atm=101.325 kPa

¿Por qué no la sentimos?

100kPa significa que una mesa de $1m^2$ siente una fuerza de 100.000 Newtons. ¿Cómo es que no se aplasta la mesa? ¿Cómo es los seres humanos no sentimos el efecto de esta presión?

La explicación es sencilla: tanto la mesa, como los seres humanos, como casi todo en este planeta, estamos sometido a la presión atmosférica por ambos lados, o por"adentro" y por "afuera", haciendo que se cancele:

Pero si hay un desbalance entre la presión "adentro" y la de "afuera", ¡el efecto se siente rápidamente!



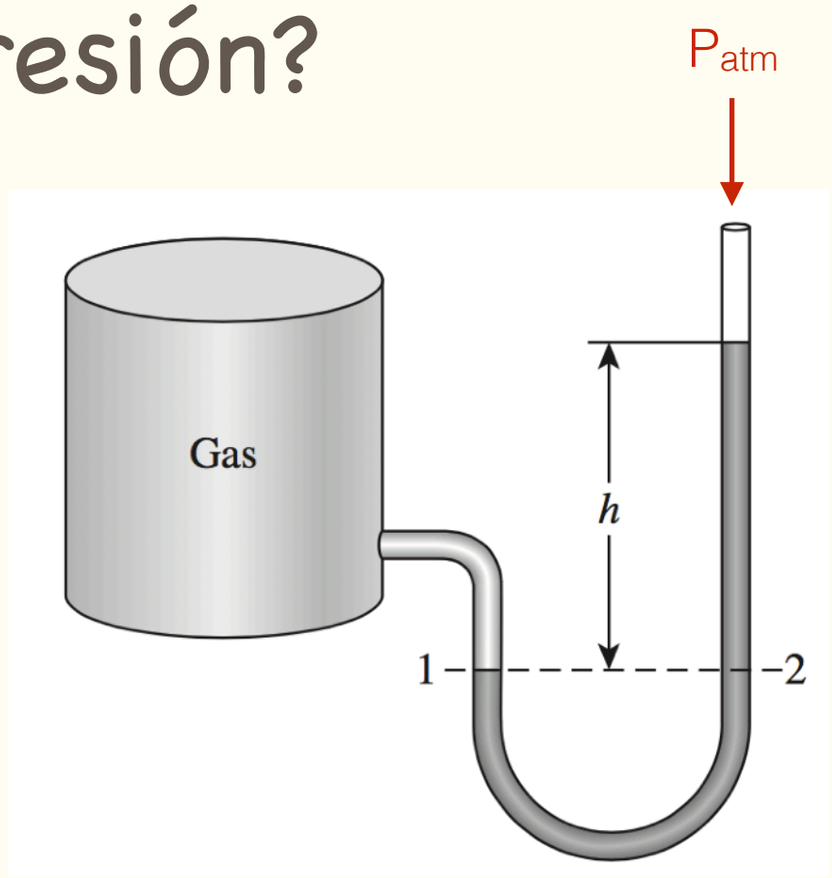
This plastic bottle was sealed at approximately 4,300 maltitude, and was crushed by the increase in atmospheric pressure —at 2,700 m and 300 m— as it was brought down towards sea level.

(más adelante haremos unos experimentos que ilustrarán lo grande que es esta presión)

¿Cómo medir la presión?

Un dispositivo común para medir presiones es el manómetro

Hay muchos tipos de manómetros, pero todos funcionan midiendo la altura de una columna de fluido (típicamente mercurio, ya que es muy denso)



En el ejemplo mostrado, si ignoramos la pequeña presión hidrostática causada por la columna de gas y el tamaño del recipiente (la cual es despreciable debido a que los gases tienen mucho menos densidad que los líquidos) entonces la presión en cualquier lugar del recipiente y hasta el punto 1 tiene la misma presión ($P_1 = P_{GAS}$)

Como los puntos 1 y 2 están a la misma altura, entonces $P_1 = P_2$. Pero también es cierto que

$$P_2 = \rho g h + P_{atm}$$

Por ende $P_1 = P_{GAS} = P_{atm} + \rho g h$, o

$$P_{GAS} - P_{atm} = \rho g h$$

cuidado de no olvidar la presión atmosférica, que actúa sólo del lado abierto ya que los tubos y el recipiente son rígidos

Nota: a $P_{GAS} - P_{atm} = P_{man}$ se le llama la presión manométrica, ya que está medida respecto a la presión de la atmósfera.

¿Cómo medir la presión atmosférica?

Un dispositivo que mide la presión atmosférica se llama “barómetro”.

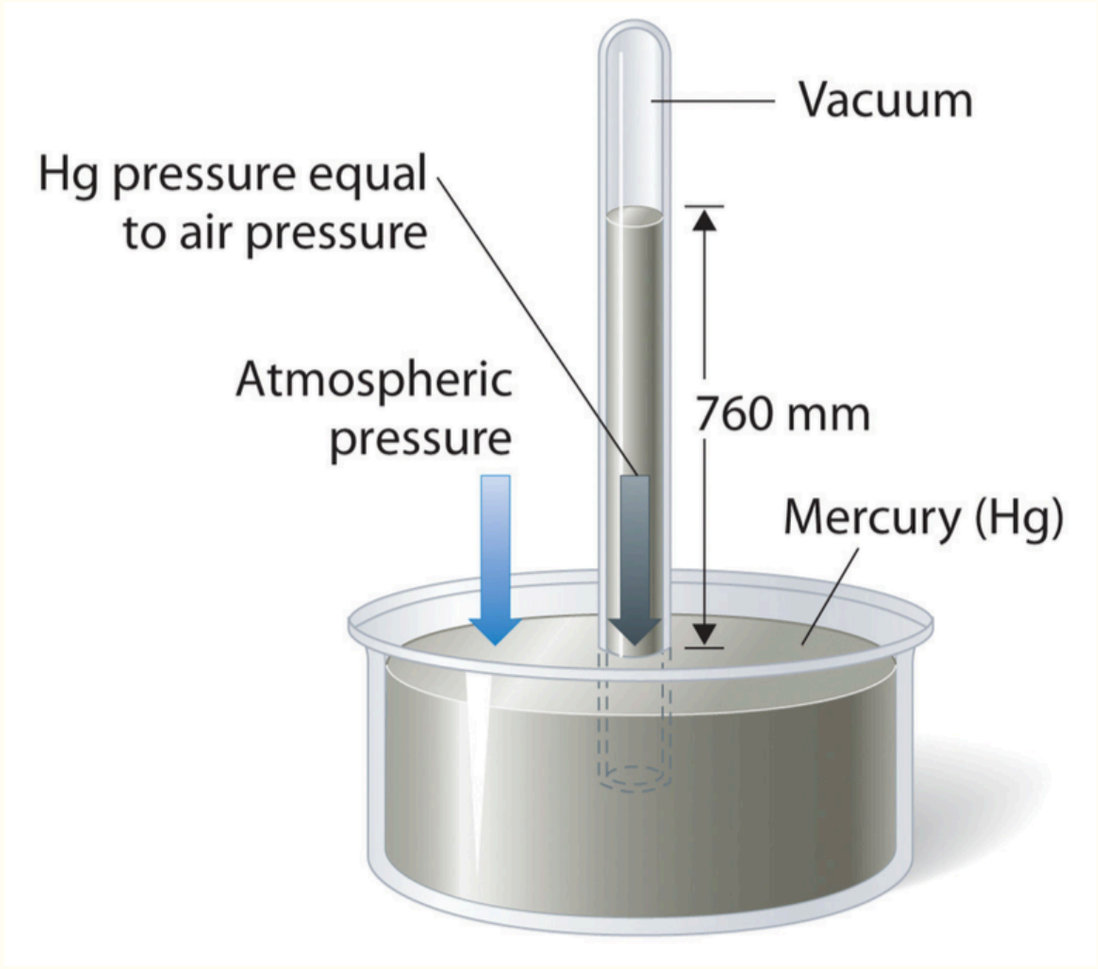
El primer barómetro fue construido por Torricelli en 1643.

Se llena un tubo de vidrio con mercurio sin permitir ninguna burbuja. Luego se invierte y sobre un recipiente lleno de mercurio.

En el espacio exterior todo el mercurio del tubo bajaría al recipiente. ¡Pero en la superficie de la tierra hay una presión atmosférica!

Haciendo el balance de presiones al nivel del mercurio en el recipiente, tenemos que $P_{atm} = \rho g h$

A nivel del mar, h=760mm. Por esto es que a veces la presión se mide en mm de mercurio.



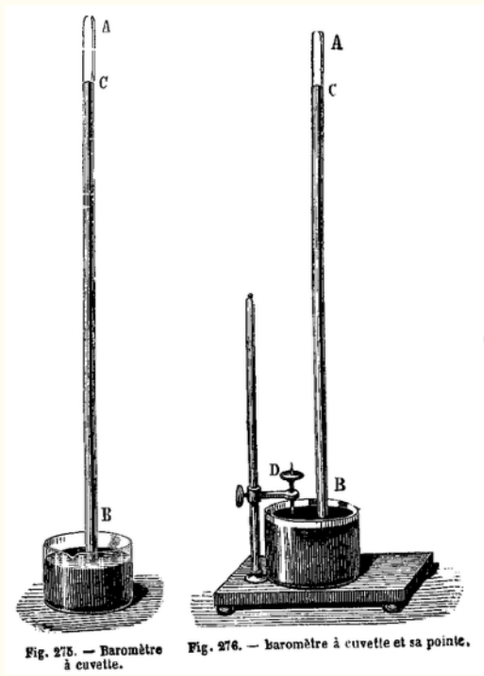


diagrama del barómetro inventado por Torricelli con proporciones más realistas

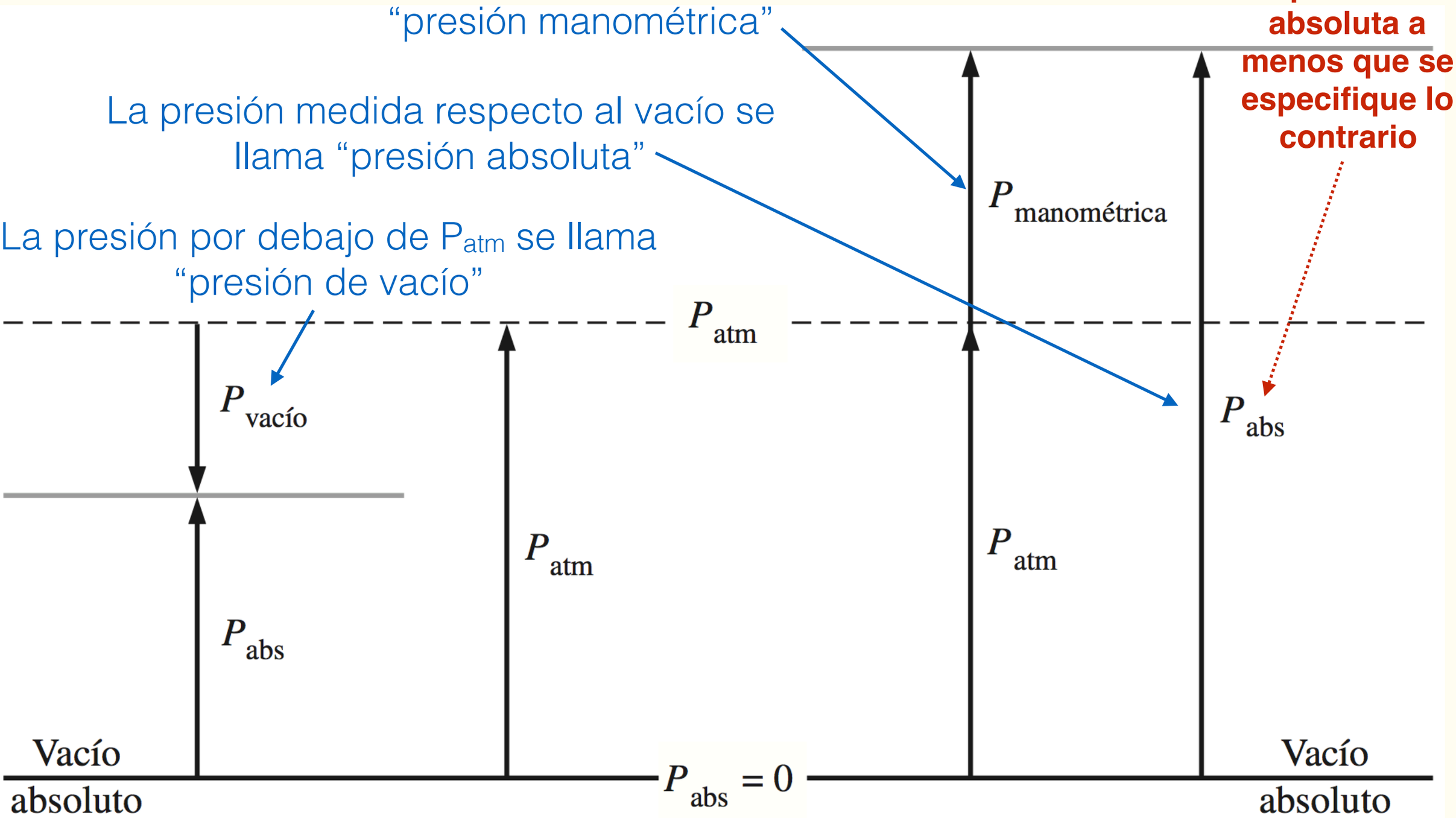
Puntos de Referencia

En este curso siempre lidiaremos con presión absoluta a menos que se especifique lo contrario

La presión por arriba de P_{atm} se llama "presión manométrica"

La presión medida respecto al vacío se llama "presión absoluta"

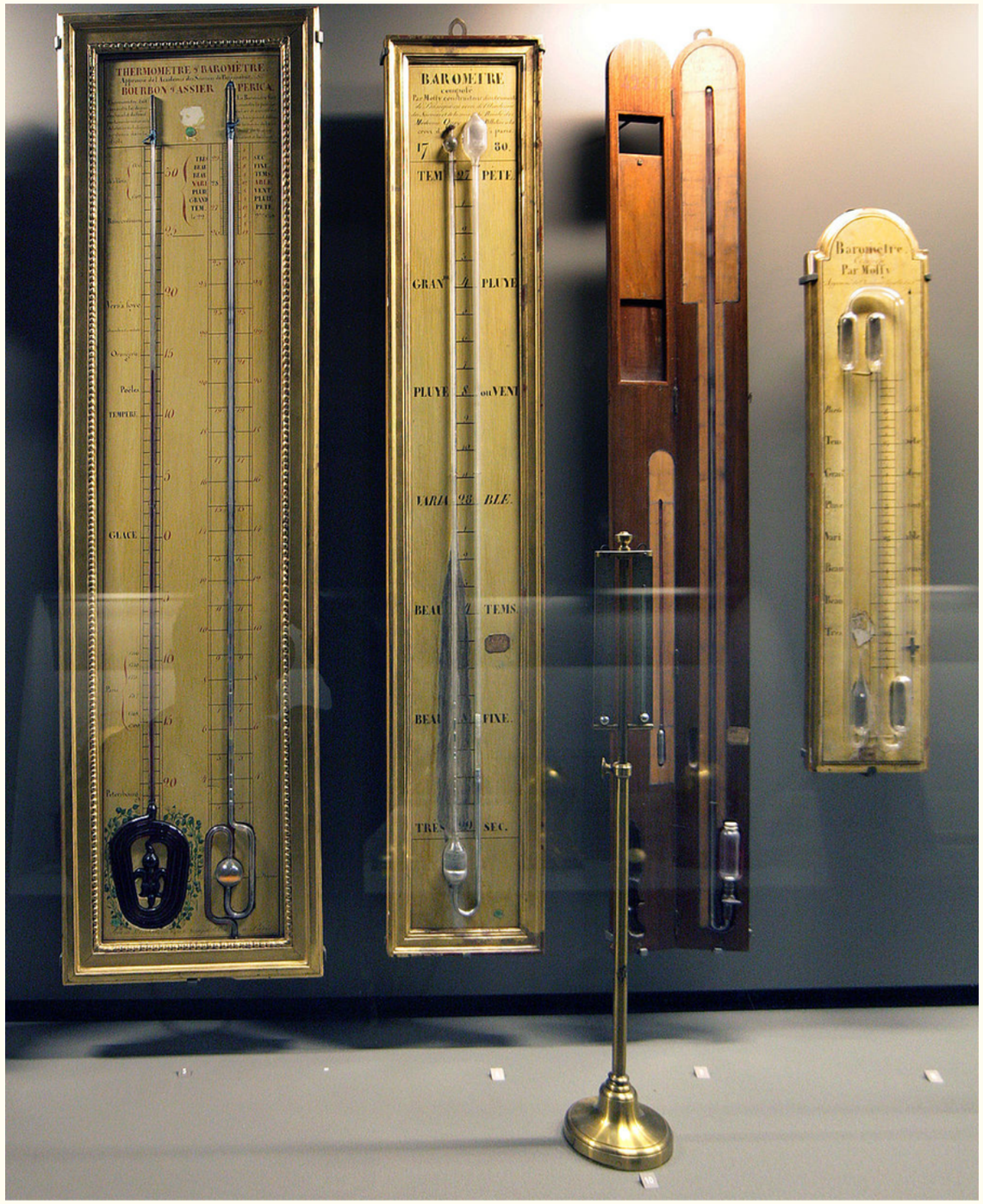
La presión por debajo de P_{atm} se llama "presión de vacío"

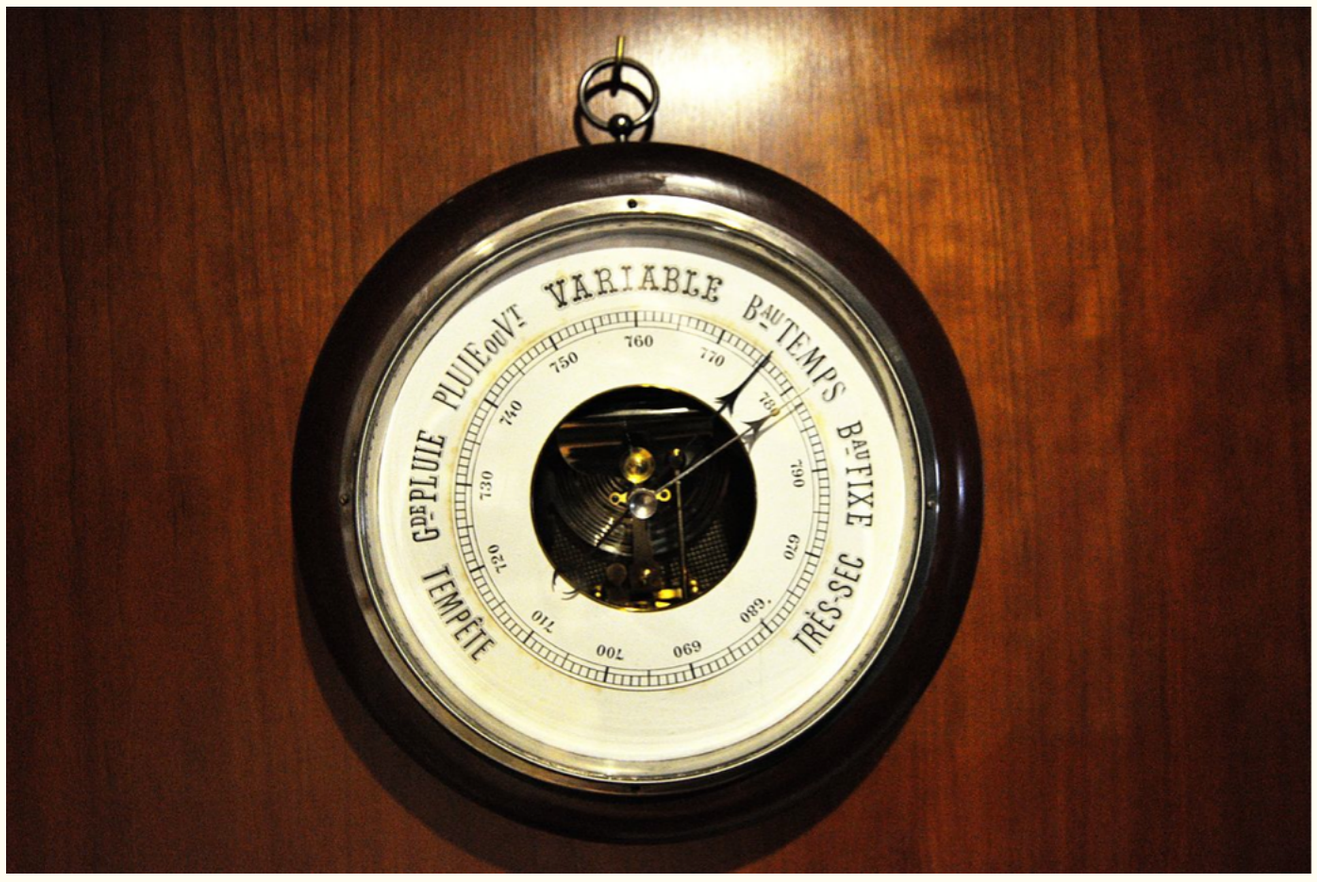


(en otras palabras, si un gas tiene P_{man} = 300kPa significa que tiene aprox. 400kPa de presión respecto al vacío)

Algunos Barómetros

Algunos barómetros modernos. El más típico es el barómetro aneroide (ver siguiente diapositiva)

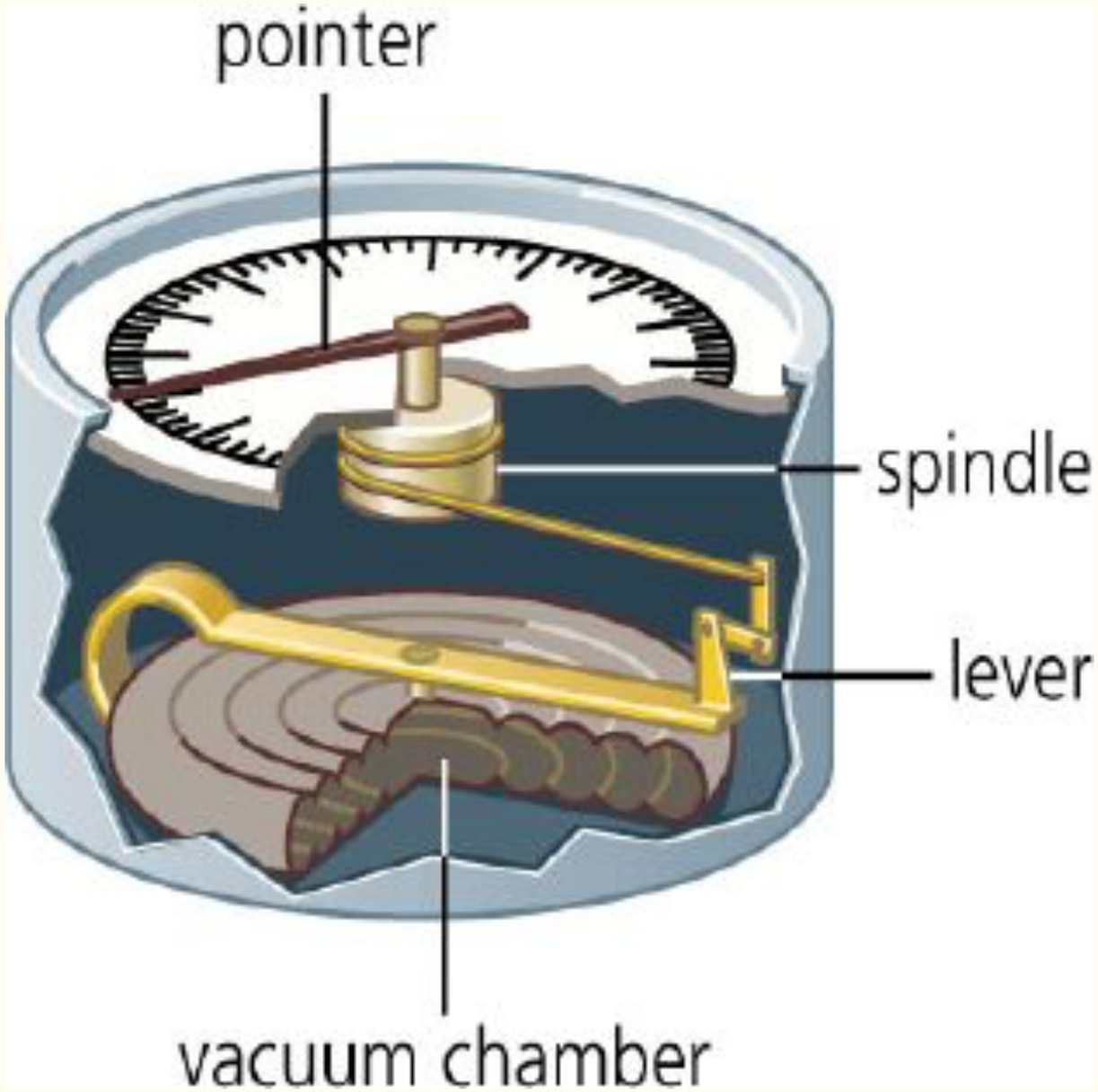




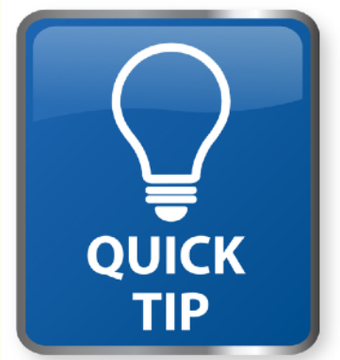
Ejemplo de la vida real: barómetro aneroide

Funcionamiento del barómetro aneroide: hay una cámara de vacío que, al comprimirse o expandirse, mueve la aguja a través de un mecanismo





Palabras finales sobre presión



Un tip final:

Para prácticamente todos los sistemas que vamos a ver en este curso, **la variación de presión debido a su altura es muy pequeña y se ignora**.

Esto es cierto principalmente con gases, pero incluso con líquidos. Por ejemplo, para un tanque de agua con 1m de altura la variación de presión debido a la altura es < 0.1 atm.

(Estas son buenas noticias, ya que de otra forma tendríamos el problema muy serio que es tener más de una sola presión que usar para el sistema en un instante dado).

Sin embargo, es importante recordar que hay problemas para los cuales es necesario **tomar en cuenta la presión atmosférica**



Experimento #1

Recordatorio:

Ley de Pascal: la presión ejercida sobre un fluido incompresible dentro de un recipiente cerrado, se transmite a todos los puntos del mismo con el mismo valor



Lecciones:

- No importa si se presiona abajo o arriba, el flotador baja igual, conforme a lo predicho por la ley de Pascal.
- El incremento de presión hace que la burbuja de aire atrapada en el flotador reduzca su tamaño, reduciendo así la fuerza de Arquímedes (esto es un comportamiento típico de gases ideales, que veremos más adelante).

Ahora hablemos de **temperatura**

(Anders Celsius, 1701-1744)



(Sección 1.8 del Cengel)

Consideremos dos objetos:

¿Cómo saber si están intercambiando calor?
(nota: no se vale usar el concepto de “temperatura” ya que no lo hemos definido)



Fácil: si hay un intercambio de calor, algunas de sus propiedades están cambiando

¿Ejemplos? resistividad, volumen… etc.

Consideremos dos objetos

¿Qué significa que dos objetos alcancen el equilibrio térmico?



Equilibrio: la idea es de que las propiedades no cambian, porque todas las fuerzas (o influencias) están balanceadas.



En otras palabras: dos cuerpos están en equilibrio térmico si no intercambian calor al ponerse en contacto térmico.

¡Cuidado!

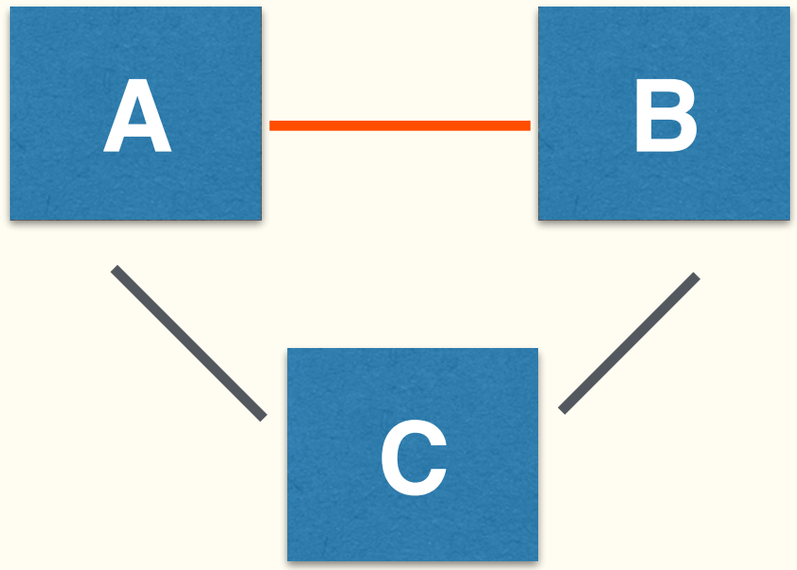
¿Si dos objetos están en equilibrio térmico, significa que sus propiedades (volumen, resistividad… etc) son las mismas?

¡NO!

Sólo significa que al ponerse en contacto estas propiedades no cambiaron, cualquiera que haya sido su valor inicial.

Ley Cero de la Termodinámica

Habiendo definido el concepto de “equilibrio térmico”, podemos enunciar la Ley Cero:



Ley Cero: si A & C están en equilibrio térmico, y B & C también, entonces A y B también se encuentran en equilibrio térmico

Ley Cero de la Termodinámica

¡¡Esto suena super papas!! Y lo es… de hecho esto se dió por sentado hasta que alguien notó en 1935 (Fowler) que tenía que ser formalmente asumido como un postulado de la Termodinámica.

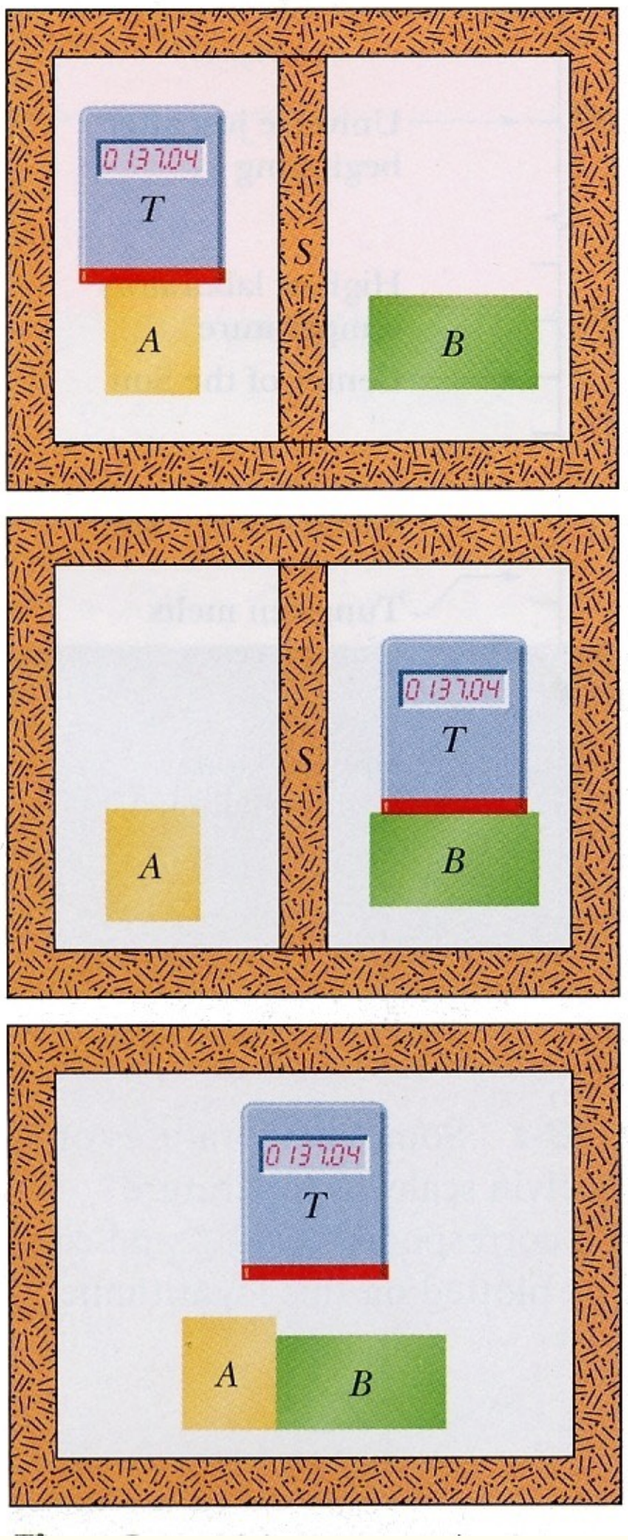
También, nótese que hay algunos sistemas que no se comportan así:

Por ejemplo →

Si A empata con B, y B empata con C, no necesariamente A empata con C (lo mismo con ganar en lugar de empatar)



Ley Cero de la Termodinámica

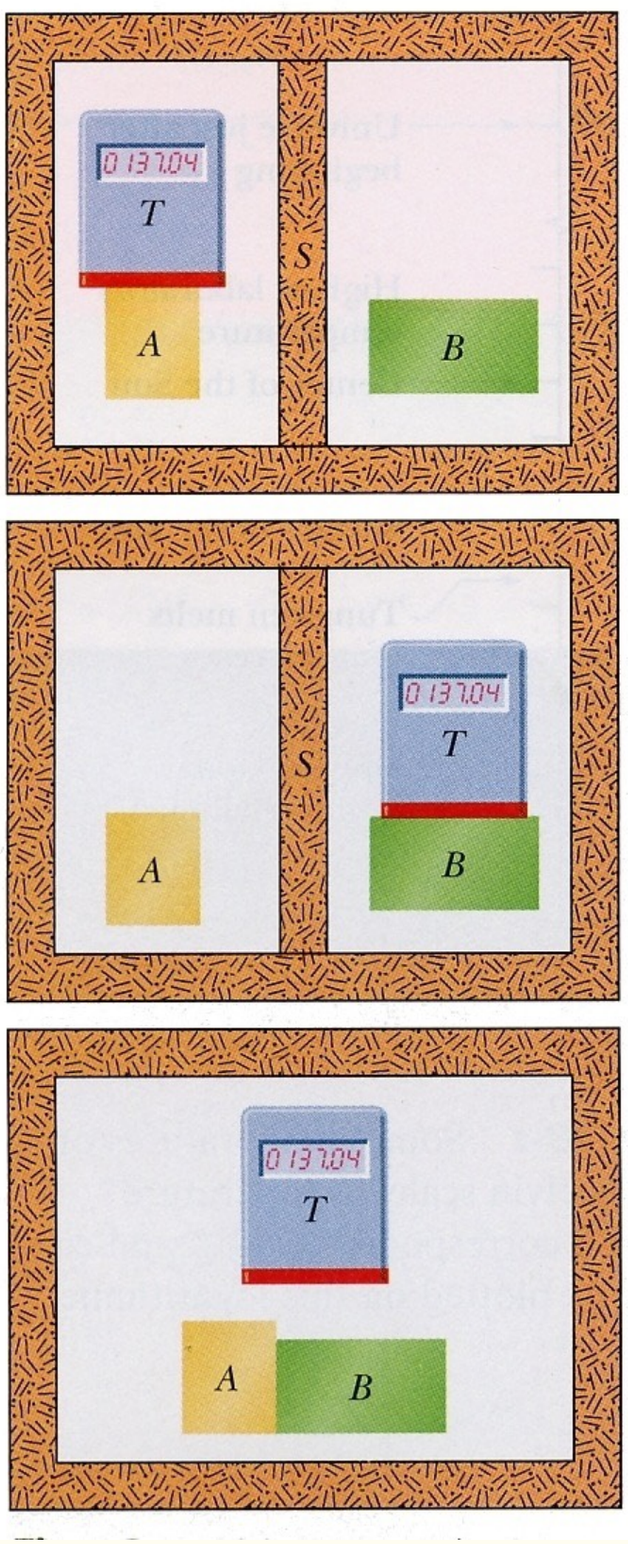


¿Qué tiene esto que ver con temperatura y termómetros?

¡Todo! La Ley Cero de la Termodinámica implica que puedo tener tal cosa como un termómetro (sería el objeto C en el diagrama de hace 2 diapositivas)

Sin tener que poner A y B en contacto térmico, a través de un tercer objeto (el termómetro) yo podría saber si los dos objetos están en equilibrio térmico

Ley Cero de la Termodinámica



También implica que puedo definir una escala que me indique que tan lejos del equilibrio térmico están dos objetos. ¡Esto es la temperatura!

Para esto necesito usar alguna de las propiedades del objeto C (el termómetro) y poner una escala

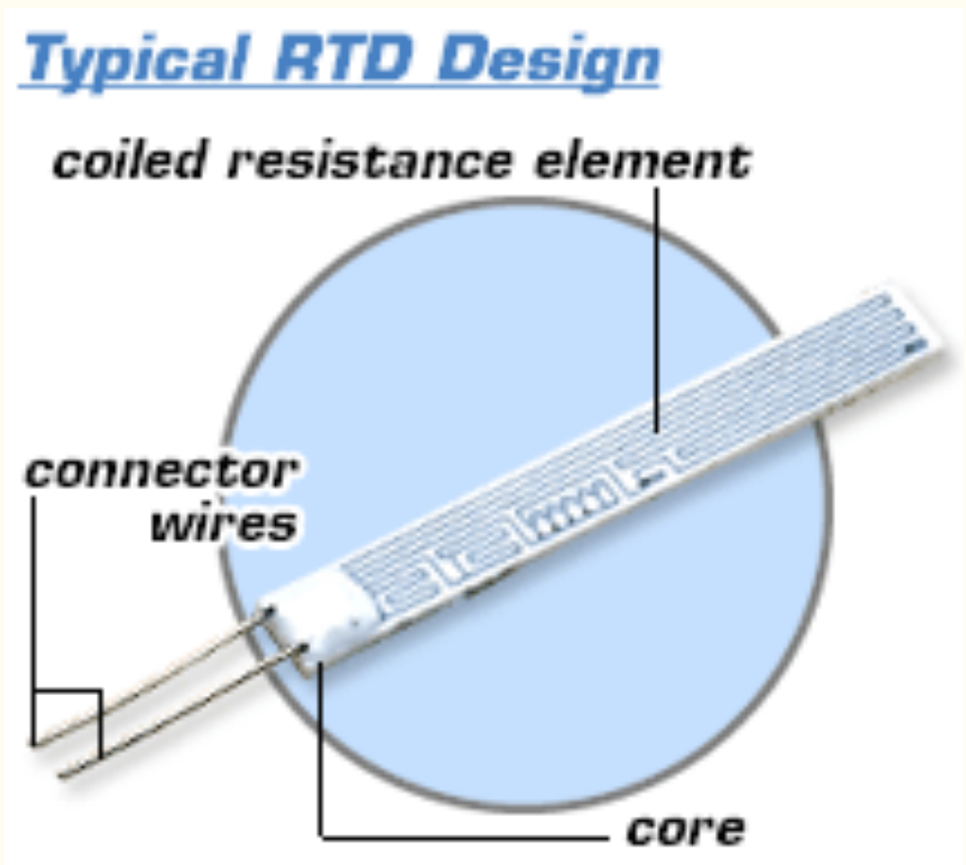
¿Cómo construir un termómetro?

Hay que:

(1) Escoger alguna propiedad del termómetro

Ejemplos: volumen del mercurio, o resistividad de un metal





¿Cómo construir un termómetro?

Pero también hay que:

(2) Definir una escala

¿En qué consiste? En asignar puntos de referencia y una graduación

Escalas de Temperatura

Ejemplo: un científico Alemán asignó 0 grados a la temperatura más baja en su pueblo (Danzig) y 100 la temperatura de la sangre, utilizando una graduación lineal entre los dos puntos

¿Su nombre?

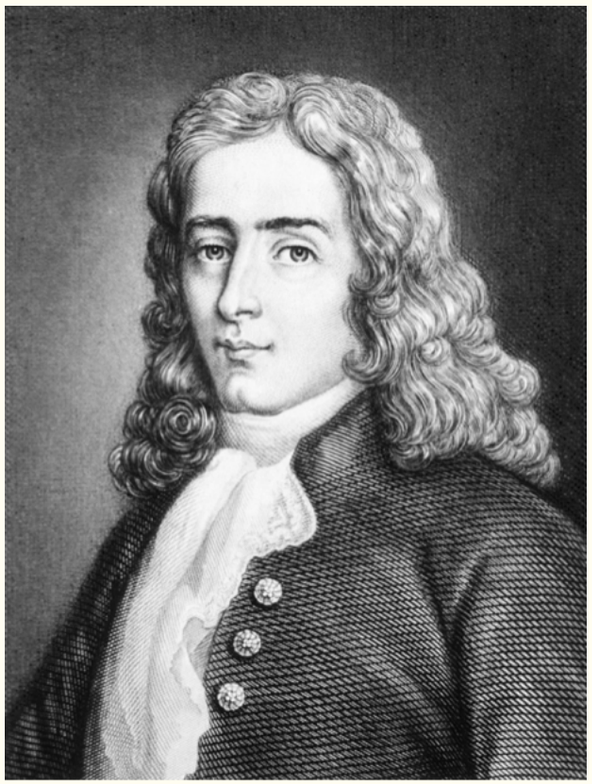


Daniel Gabriel Fahrenheit

Nota: de hecho hay cierta incertidumbre sobre si ésta es la historia real de cómo Fahrenheit llegó a su escala. Algunos dicen que escogió 96 como la temperatura del cuerpo humano y el 0 como la temperatura de una mezcla de hielo, agua y cloruro amónico. Lo que sí es que sus mediciones no fueron muy precisas. Después la escala se recalibró utilizando 32 y 212 como los puntos de congelamiento y ebullición del agua, lo que dejó la temperatura del cuerpo humano en ~98.6F en lugar de 96F o 100F

Escalas de Temperatura

Un Francés (René Antoine Ferchault de Réaumur) escogió 0 grados como el punto donde el agua se congela y 80 grados donde hace ebullición.

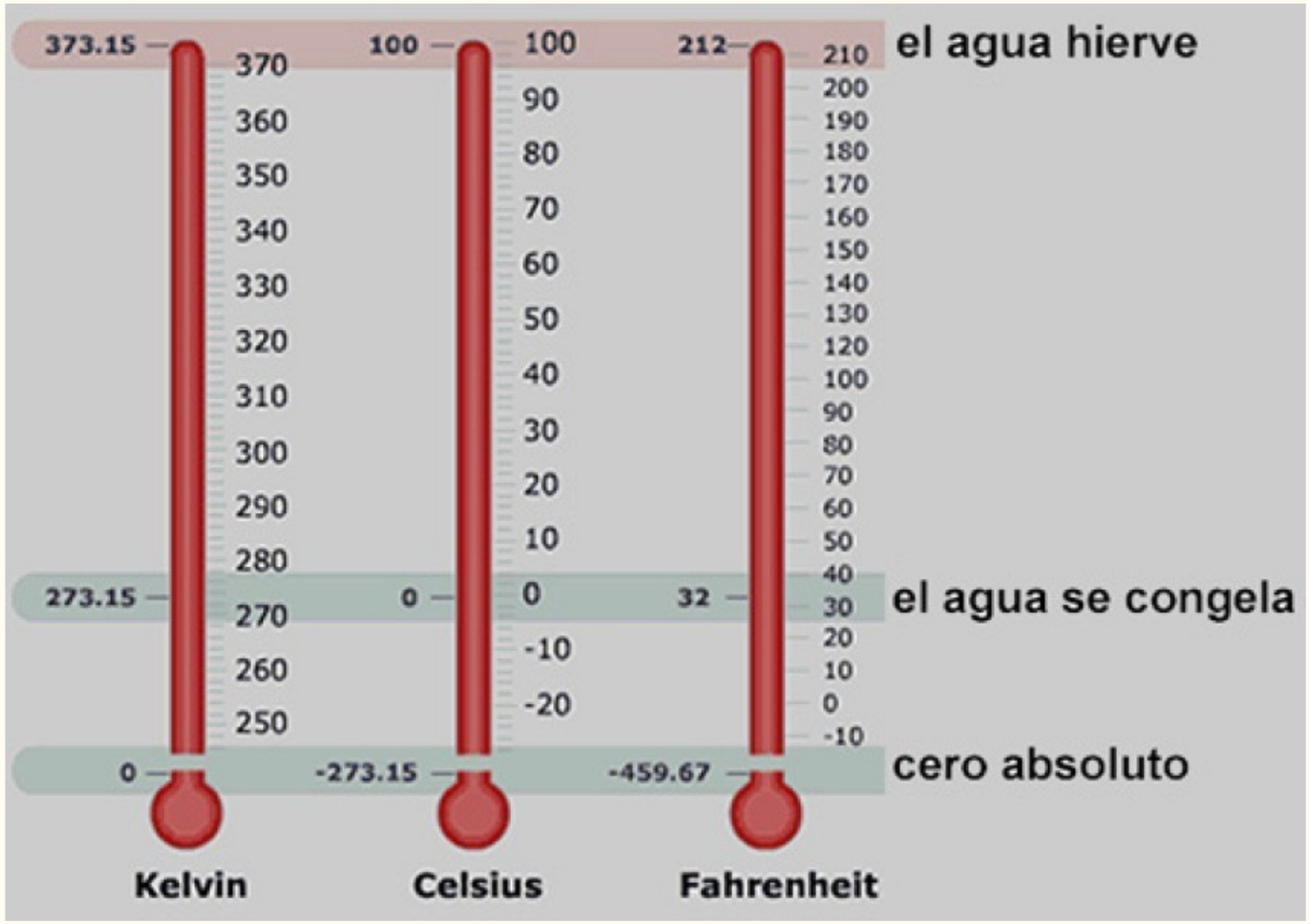


Un sueco (Anders Celsius) hizo algo similar, pero escogió 100 grados como la temperatura de ebullición del agua.



Les escalas más comunes: Kelvin, Celsius, Fahrenheit

En este curso utilizaremos las escalas Celsius y Kelvin (que motivaremos a continuación)



	Celsius centígrada	Fahrenheit	Kelvin absoluta
Punto de referencia inferior	H_2O + hielo	H_2O + hielo	$P(T) = 0$
Temperatura inferior	0°C	32°F	0 K
Punto de referencia superior	H_2O en ebullición	H_2O en ebullición	∄
Temperatura superior	100°C	212°F	
Graduación	100	180	100
Símbolo	°C	°F	K

Experimento #2

Una demostración clásica de cómo la presión hidrostática depende de la profundidad:

(aunque nótese que esta demostración tiene sus limitantes; ver por ejemplo: https://c.ymcdn.com/sites/www.eps.org/resource/collection/016775D4-8888-474D-887F-3E33AEA5E6D0/EPSPED_MUSE_bot_holes.pdf)

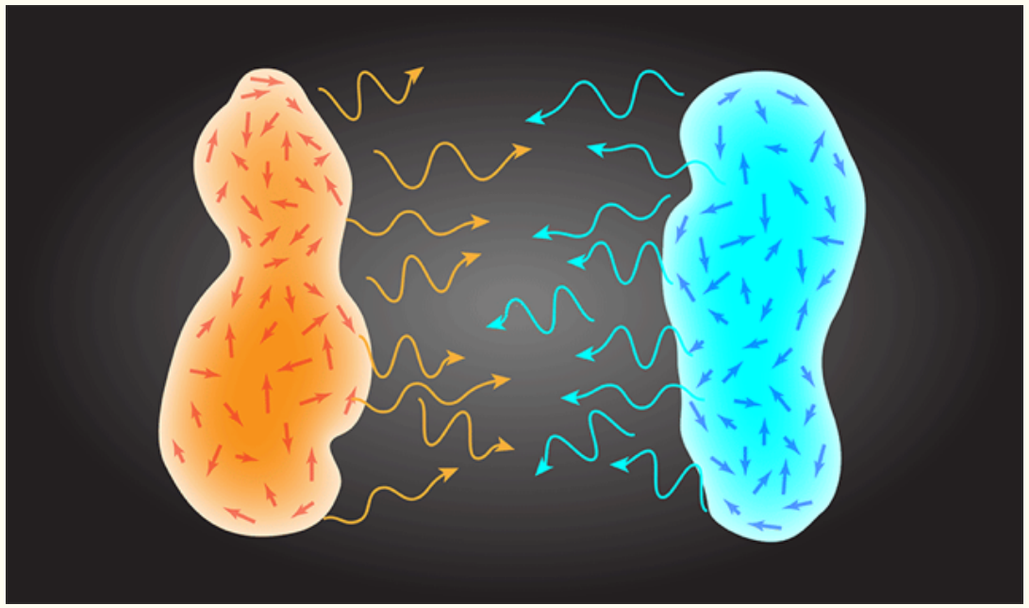


Definición de Temperatura

A final de cuentas entonces, ¿qué es la temperatura?

Un número que indica el estado de "calidez" o "frialdad" de los objetos, y **que nos dice si va a haber o no intercambio de calor entre ellos**





Mientras mayor sea la diferencia de temperaturas, más lejos estarán del equilibrio térmico y mayor será el intercambio de calor.

El calor siempre fluye del más caliente al menos caliente hasta que los dos alcanzan la misma temperatura (equilibrio térmico)

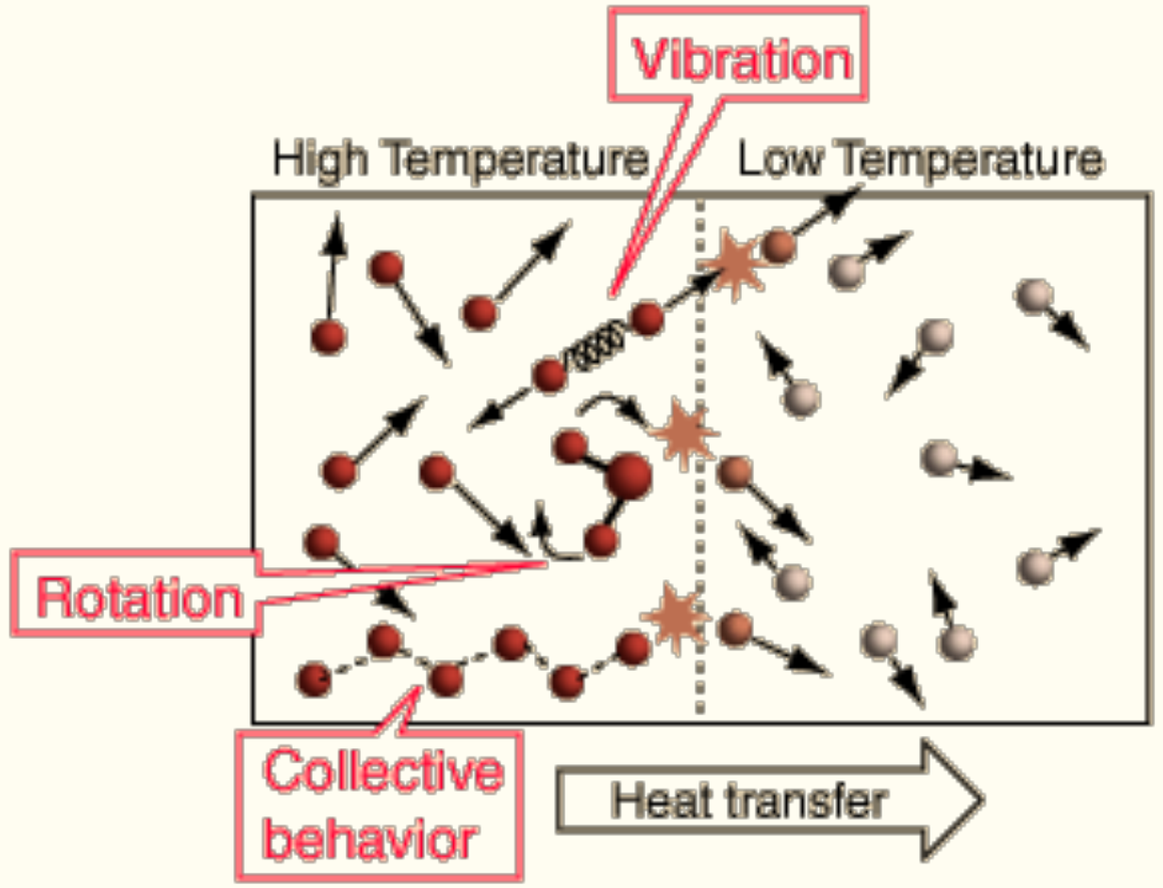
(más adelante en el curso veremos los tres mecanismos por los que se intercambia el calor entre cuerpos, pero por ahora lo importante es recordar que este intercambio ocurre si la temperatura es diferente)

Definición de Temperatura

Cuando se comenzó a utilizar el concepto de temperatura, no se conocía bien la estructura de la materia. Pero ahora sí.

La pregunta surge: microscópicamente, ¿qué es la temperatura?

(para un sólido no hay desplazamiento sino sólo vibración, pero para un líquido y un gas sí, aparte de rotación y vibración)





Temperatura: es el nivel de agitación (energía cinética) de las partículas que constituyen el objeto

¿Por qué Ley Cero?

Un último comentario: ¿por qué se le llama a esta ley la Ley Cero?

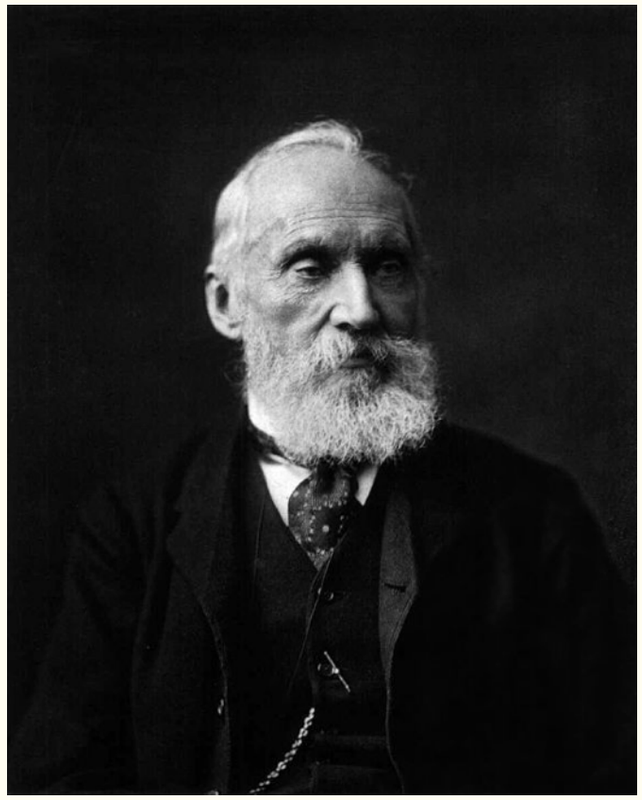
Esto es porque es más fundamental que las otras (provee la base para definir la temperatura), pero históricamente vino después de las otras.

(William Fowler, 1934, el año que postuló la Ley Cero) →



Ya casi terminamos el primer capítulo del Cengel, pero nos un concepto más: **el cero absoluto**

(Lord Kelvin, 1824-1907)



Nota: Kelvin fue uno de los pioneros, aunque no fue sólo su trabajo el que permitió deducir el cero absoluto. También estuvieron involucrados Boyle, Amontons, Lavoisier, Lambert y Laplace

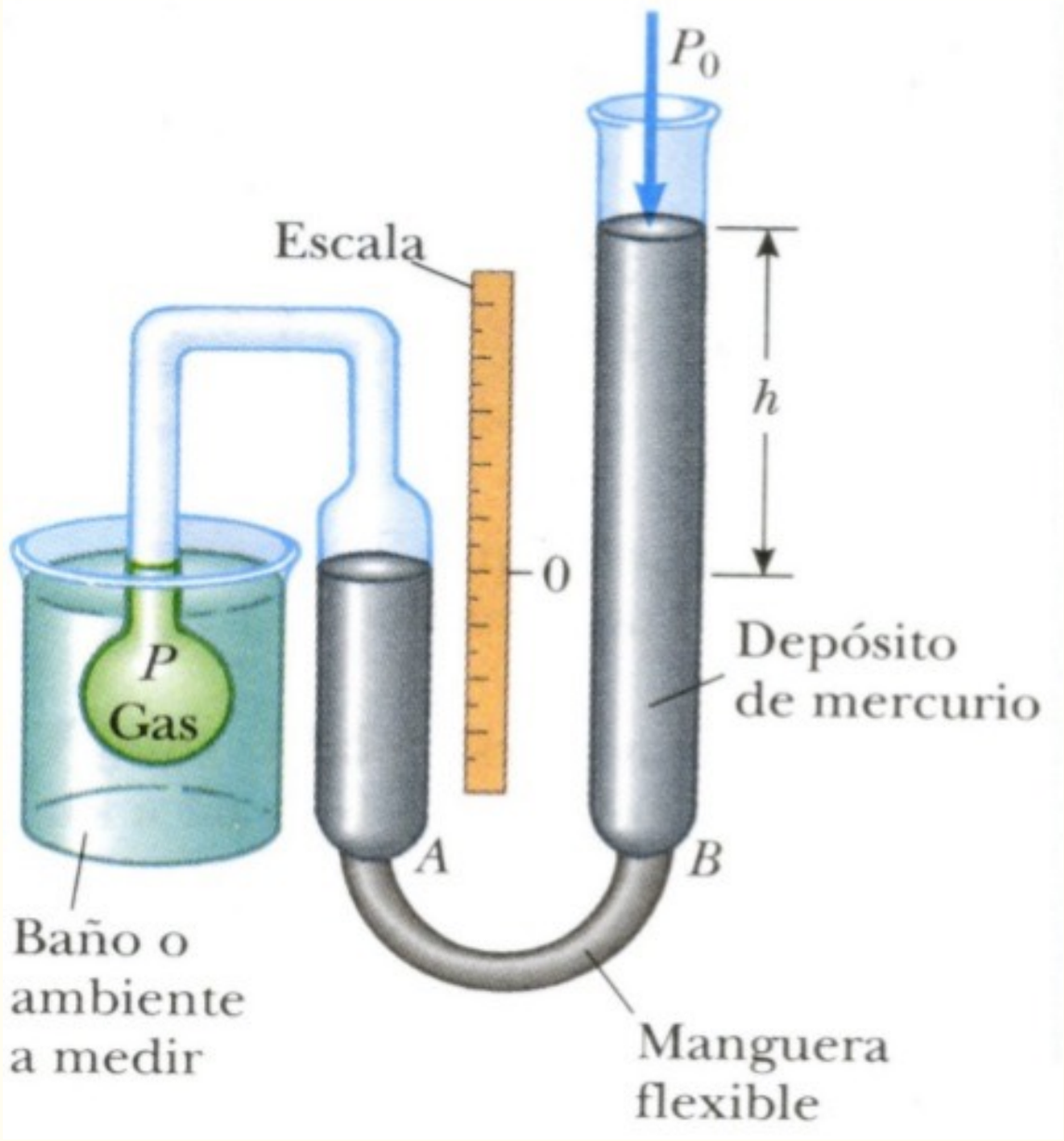
(Sección 1.8 del Cengel)

Kelvin y el Termómetro de Gas

¿Cómo se descubrió el cero absoluto?

Kelvin y otros experimentaron con un termómetro de Gas Ideal

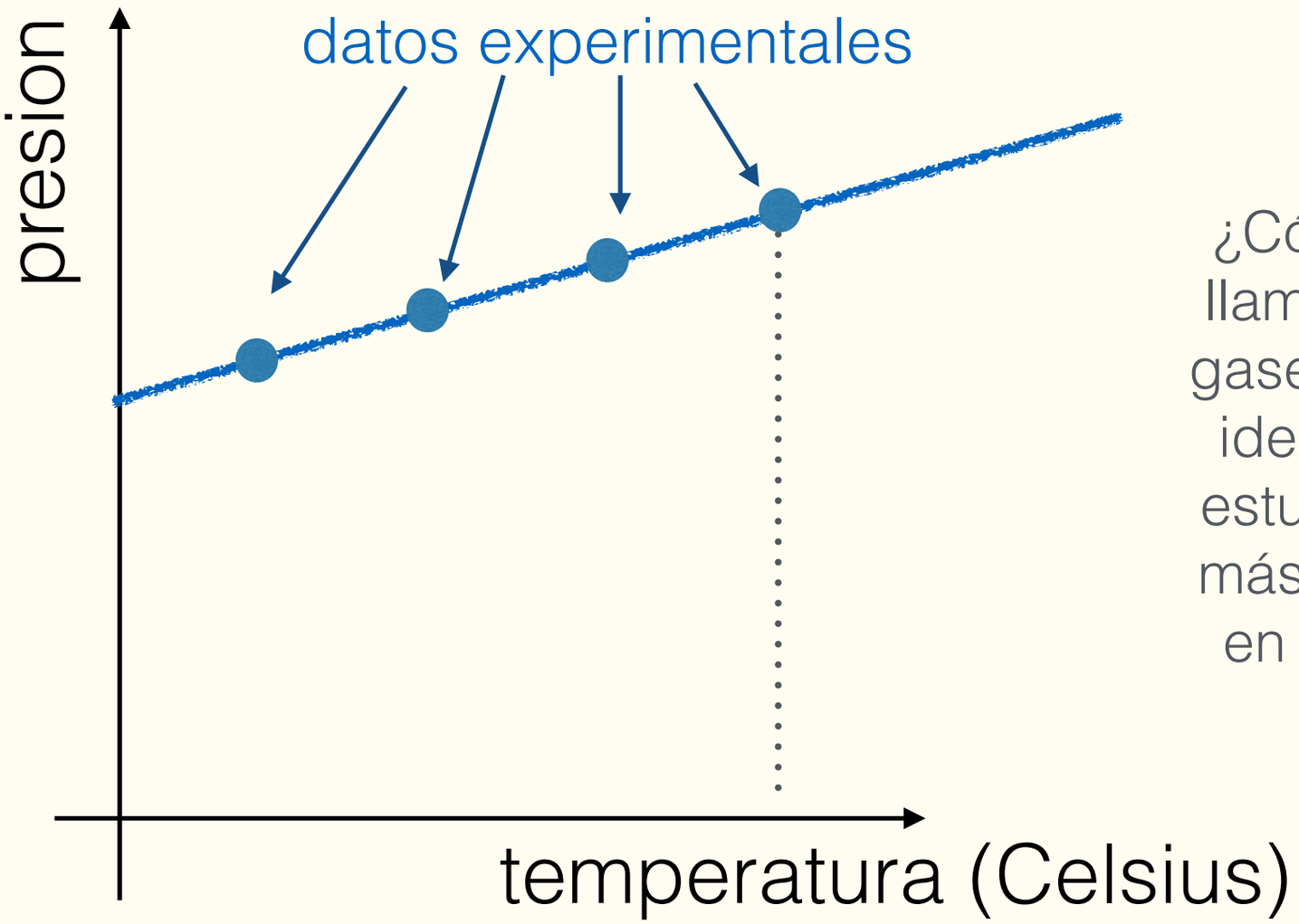
Al cambiar la temperatura del recipiente cambia la presión del gas (típicamente helio o hidrogeno) y cambia la altura de la columna de mercurio. El volumen se mantiene constante gracias a la manguera flexible que permite mantener el nivel de mercurio de la parte izquierda en “0”



Kelvin y el Termómetro de Gas

En tiempos de Kelvin ya se sabía que había un cierto tipo de gases para los cuales, si el volumen se mantenía constante, había una relación lineal entre presión y temperatura

Si hacemos una gráfica utilizando la escala de Celsius para la temperatura se vería algo así:



¿Cómo se le llama a estos gases? Gases ideales. Los estudiaremos más adelante en el curso.

Resultados Experimentales

Lo curioso es que, al experimentar con diferentes gases, se encuentra lo siguiente:



¡¡Al extrapolar las curvas todas se unen en un mismo punto a -273.15 C!!!

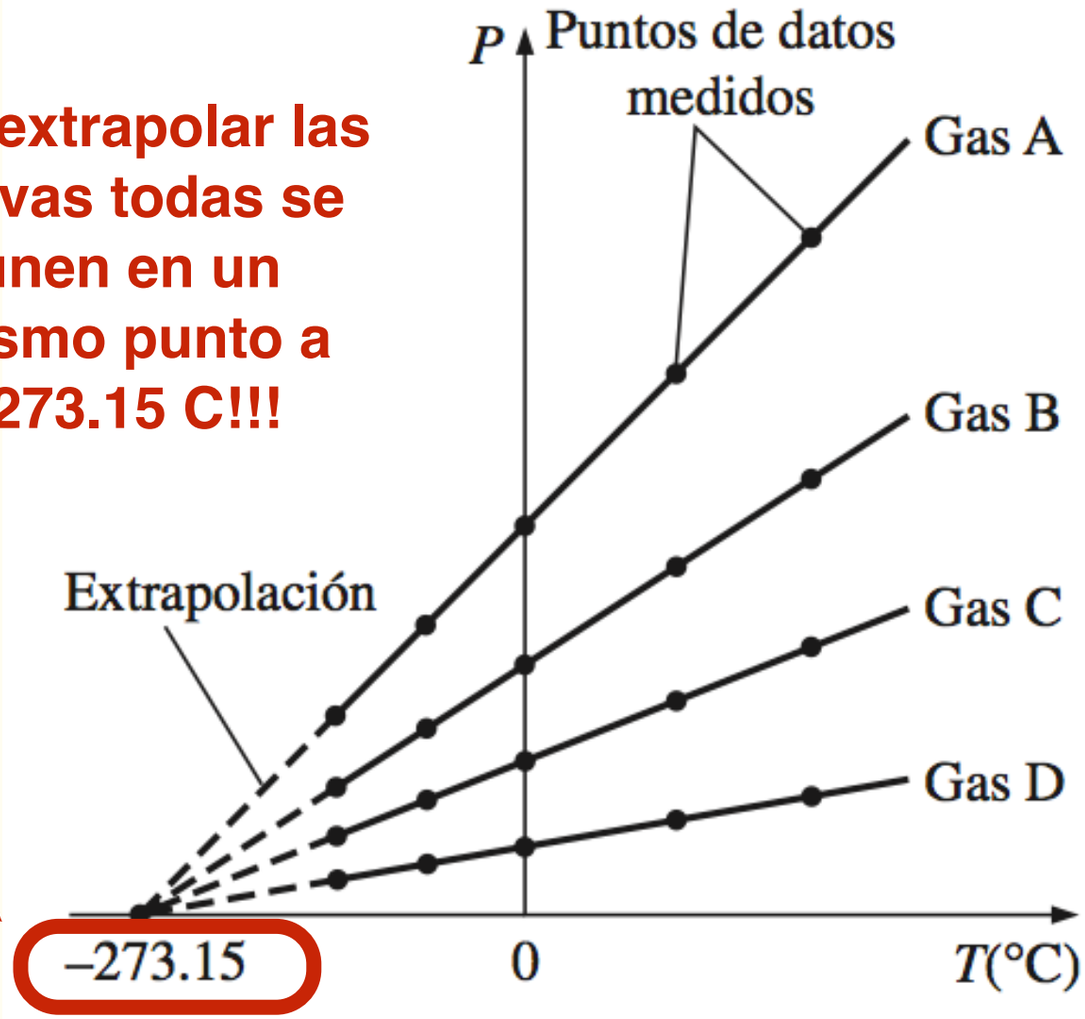


FIGURA 1-36

Gráficas P en función de T de los datos experimentales de un termómetro de gas de volumen constante con cuatro gases distintos a diferentes presiones (bajas).

Como temperaturas más bajas que estas implicarían presiones negativas, esto indica que la naturaleza tiene un límite bajo el cual la temperatura no puede estar.

Escala de Kelvin

El cero absoluto es entonces la temperatura más baja que puede alcanzar cualquier substancias. Es el punto en donde la energía cinética de las partículas la mínima posible.

¿Consecuencia? Kelvin sugirió mantener la graduación establecida por Celsius, pero cambiando los puntos de referencia por los siguientes dos:

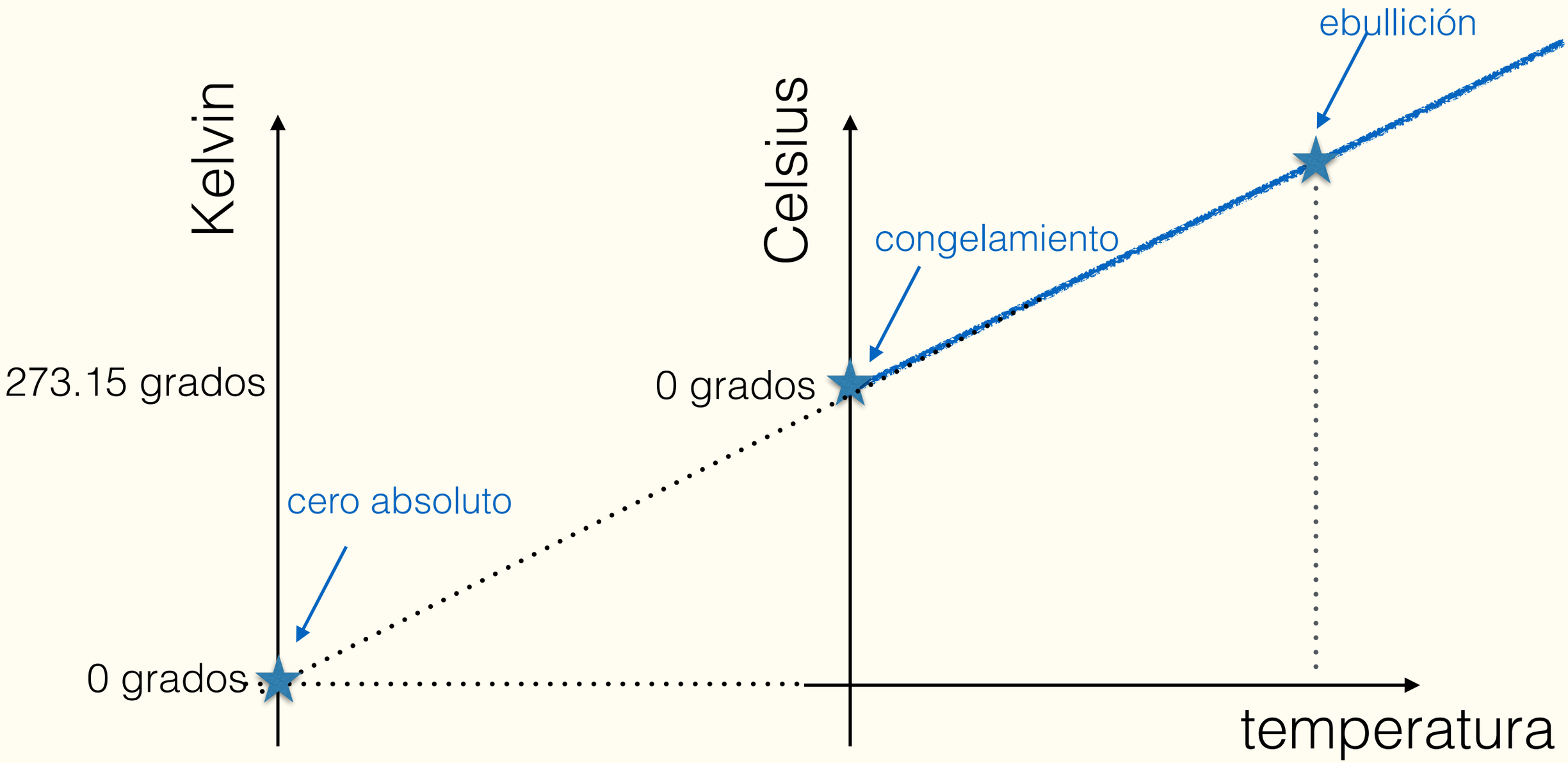
Cero absoluto	0 grados
Congelamiento del Agua	273.15 grados

En 1954, se cambió por el punto triple del agua (273.16 grados), que explicaremos después, pero esto no cambia nada.

Esta es la escala de Kelvin (ver diapositiva siguiente)

Escala de Kelvin

Convertir de Kelvin a Celsius es super papas:



$$T(\mathrm{K}) = T(^{\circ}\mathrm{C}) + 273.15$$

¿Lugar más frío en el universo?

Superficie de la luna
(en sombra)



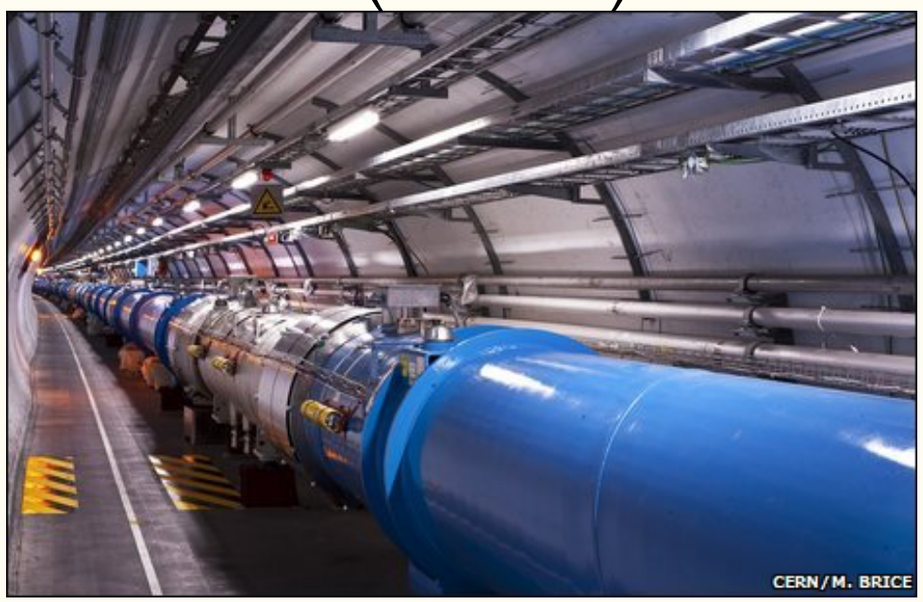
45 Kelvin

Espacio exterior



2.7 Kelvin

Gran Acelerador de Hadrones
(CERN)



< 1.9 Kelvin

¡El lugar más frío del universo está en la tierra! (hasta donde sabemos)

Próxima clase: dilatación y gases ideales

