



PROGRAMAS
DEL
CURSO DE FÍSICA INDUSTRIAL Y TECNOLOGIA
DE LA FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS I MATEMÁTICAS DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE
(CONTINUACION)

PRIMERA SECCION
TERMO-TÉCNICA O TÉCNICA DEL CALOR

PROGRAMA A

I.—Medidas del calor

1.^a LECCION.— *Nociones de termo-dinámica.*—Aplicaciones del calor.—Naturaleza del calor.—Fuerza viva.—Trabajo.—Fenómeno térmico.—Esperiencias de trasformaciones.—Cálculo de la cantidad de calor producida.—Conversion del trabajo en calor.—Nocion jeneral de la equivalencia entre el calor i el trabajo.—Esperiencias.

Equivalente mecánico del calor.—Mayer.—Joule Hirn.—Cálculo del equivalente del calor.—Su constancia.—Ciclo cerrado.—Coeficiente económico de una máquina.—Equivalente mecánico de la caloría.—Conclusiones.

2.^a LECCION.— *Trasformaciones del trabajo en calor.*— *Trasformacion del calor en trabajo.*—Ciclo reversible.—Teorema de Carnot.—Representacion gráfica del trabajo esterno.—Curvas isotérmicas, etc.—Proposiciones finales.—Nociones sobre la

energía en jeneral.—Conservacion de la energía.—Máquina de vapor.—Esperiencias de Hirn.—Unidad de fuerzas físicas.—Fuentes o manantiales de calor.—Calor producido por la electricidad.—Trasformacion de la energía eléctrica en energía calorífica.

Ejercicios i aplicaciones.—1.º Cálculo de la cantidad de calor $Q = C = (t - t^0) + AT_m + AT_e$. 2.º Trabajo de un gas bajo presión constante. 3.º Gasto de calor para hacer pasar un 1 kg. de

un gas de un estado a otro. $Q = \frac{d}{R} [C_v (P' - P)V + Cp (V' - V)$

$P']$ 4.º Esponer todas las circunstancias de producción de trabajo por el calor aplicado a 1 kg. de aire funcionando según un ciclo de Carnot. 5.º Calcular la relación jeneral entre la lei de

Mariotte i la lei de Gay-Lussac. $V''' = V'' \left(\frac{1 + a t'}{1 + a t} \right) \frac{h}{H}$ o bien

$\frac{V'''}{V''} = \frac{T. h}{T. H}$ 6.º Conociendo el trabajo necesario para producir

una serie determinada de estados sucesivos, cuánto deberá gastarse de calor para efectuar la misma serie de operaciones, i recíprocamente. 7.º Calcular el equivalente mecánico del calor por la consideración del calor específico del aire. 8.º Calcular el equivalente mecánico del calor considerando un gas cualquiera.

3.ª LECCION.—*Termometría o pirometría industriales.*—*Temperaturas.*—Efectos del calor sobre un gas.—Trabajo exterior.

Termómetros.—Correcciones.—Medidas de las temperaturas.—Método de Joule, de Kaestner i Meunier para explorar la temperatura del vapor de una caldera.—Medidas de las altas temperaturas.—Indicadores de temperaturas.—Indicadores eléctricos.—Aplicaciones i ejercicios.

4.ª LECCION.—*Pirosopos o pirómetros de fábricas.*—De Petersen, Daniell, de Steinle i Hartung.—Pirómetro de aire, de Jolly, de Weinhold, de Codazza, eléctrico de Siemens.—Talpotasímetro o pirómetro de vapor.—Anteojos pirométricos.—Espectroscopo.

5.ª LECCION.—*Calorimetría.*—*Medidas de las cantidades de calor.*—Calor específico.—Sus variaciones.—Medidas de los calores específicos.—Pequeñas i grandes calorías.

Cálculo del número de calorías necesarias para calentar la unidad de masa de t_0 a t_1

$$Q = \int_{t_0}^{t_1} \phi(t) dt = a \left(t^1 - t_0 + \frac{\beta}{2} \right) (t_1^2 - t_0^2) + \frac{\gamma}{3} (t_1^3 - t_0^3) + \text{etc.}$$

Fórmulas de Regnault, de Bossecha, de Wüllner, de Pfaundler, etc.—Fórmula empírica para calcular el calor específico de un gas a t . $C_t = 0,18715 + 0,0002855 t - 0,000000106 t^2$.—Cálculo de las cantidades de calor necesarias para los cambios de estado de los cuerpos.—Fórmula de Regnault: $C = 606,5 + 0,305 T$, de Clausius: $\lambda = 607 - 0,708 T$ o $\lambda = 607 - 0,708 (T - 272,6)$.—Fórmula para calcular la fuerza elástica del vapor: $F = (1 + 0,7153 t)^2$.—Calor total.

Calcular el peso de agua fría que se necesita para condensar un peso Q de vapor. —Tensión de disociación.—Aplicaciones i ejercicios.

6.^a LECCION.—*Calorímetros o aparatos para medir las cantidades de calor.*—Condiciones de esperimentación.—Varias clases de calorímetros.—Correcciones.—Masa reducida en agua.—Método de Maxwell.—Método de compensación.—Medida calorimétrica de las altas temperaturas.—Método de Codazza.—Calorímetro pirométrico Siemens, de Weinhold, empleo de la fórmula $C_1 T = c t \frac{Q}{p}$.

II.—Produccion del calor

7.^a LECCION.—*Produccion artificial del calor.*—*Combustion i combustibles en general.*—Combustible.—Combustion.—Sus condiciones generales.—Combustion de los sólidos, líquidos, gases. Condiciones de una combustion completa.

Combustion de los gases.—Llama.—Causas que influyen sobre sus dimensiones i su poder de iluminacion.

Combustion de los líquidos.—De los sólidos (ver aparatos de combustion i de calentamiento, leccion 37.^a).

8.^a LECCION.—*Potencia o poder calorífico de los combustibles.*

-- Potencia calorífica.—El poder calorífico es proporcional a las cantidades de calor de combustion.

Determinaciones del poder calorífico.—Antiguas determinaciones de Laplace i Lavoisier, de Rumfort, de Despretz.

Ensayos del poder calorífico basados sobre la potencia vaporizadora del combustible.—Esperiencias de Sainte-Claire Deville sobre los aceites minerales.

$$\text{Poder calorífico} = \frac{(637 - T) P + p (t' - t)}{M}$$

Esperiencias modernas de Fabre i Silbermann.—Influencia del estado molecular.—Potencia calorífica de los hidro-carburos.—Esperiencias de Berthelot.

Complejidad de los fenómenos de combustion.—El calor medido en el calorímetro no procede solamente de la acción química de la combustion.—Leyes relativas a la potencia calorífica.

1.º El calor producido en la combinación de dos cuerpos es siempre igual i de signo contrario al calor de descomposición.
 2.º La cantidad de calor despejada por un combustible es independiente de la actividad de la combustion i también de la proporción de oxígeno que se encuentra en el comburente.
 3.º En el fenómeno complejo de una combinación química, el calor desprendido es la suma algebráica de las cantidades producidas por cada uno de los fenómenos en particular.—Aplicaciones i ejercicios.

9.^a LECCION.—*Empleo de las leyes de Dulong, de Welter, para calcular el poder calorífico de los combustibles.*

Lei de Dulong.—El calor despejado por un combustible es igual a la suma de las cantidades de calor despejadas por la combustion de los elementos constituyentes, no tomando en cuenta, sin embargo, la porción de hidrógeno que puede combinarse con el oxígeno del combustible para formar agua.

Fórmulas:

$$N = 8080 C + 34462 \left(H - \frac{O}{8} \right) \text{ o bien } N = 8080 p + 34462 \left(p' - \frac{p''}{8} \right)$$

$$N = 8080 C + 29000 \left(H - \frac{O}{8} \right) \text{ o bien } N = 8080 p + 29000 \left(p' - \frac{p''}{8} \right)$$

Lei de Welter.—El calor despejado en la combustion es proporcional a la cantidad de oxígeno absorbido.

Fórmulas:

$$N = m PO; PO = \frac{16}{6}C + 8H = 8 \left(\frac{C}{3} + H \right); N = 8m \left(\frac{C}{3} + H \right)$$

$$\text{Fórmula del calor de combustion } A = \frac{\sum p c}{\sum p}$$

Calcular el calor necesario para hacer pasar el carbono sólido al estado gaseoso.

Método de Berthier basado sobre la lei de Welter para determinar la potencia calorífica de los combustibles.

Comparaciones de los métodos directos por medio de los calorímetros con los métodos por el cálculo.—Influencia del estado molecular del combustible.

Determinar la potencia calorífica de un combustible, conociendo su composición dada por el análisis elemental.

Análisis elemental de un combustible.—Su rendimiento en carbon i en gases combustibles.

10.^a LECCION.—*Principios de termo química.*—1.^o Principio del trabajo molecular. 2.^o Principio de la equivalencia calorífica de las trasformaciones químicas. 3.^o Principio del trabajo máximo.

Fenómenos de disociacion.—Termo-química en la metalurgia.—Cálculo de la cantidad de combustible.—Precio de la unidad de calor.

11.^a LECCION.—*Temperaturas de combustion.*—Poder radiante de un combustible.—Esperiencias de Péclét.—Tempera-

tura de combustion. Depende de varios factores.—Temperatura cuando el calor radiante es nulo.—Fórmula jeneral:

$$T = \frac{P c \theta + P' c' \theta' + m P N}{\Sigma p c} \quad \text{— Simplificacion de la fórmula:}$$

$$T = \frac{m N}{0,24 (A + 1)} + \theta \quad \text{i} \quad T = \frac{N}{\Sigma p c}$$

Ejemplos de cálculo de las temperaturas de combustion del carbono, del hidrójeno, del óxido de carbono, etc., de una hulla, de un combustible cualquiera.

Cálcular las cantidades de calor en el caso en que el carbono, el óxido de carbono, el hidrójeno se queman por el aire o el oxígeno completamente utilizados o utilizados por $\frac{1}{2}$ i calcular las temperaturas correspondientes.

Temperatura de la combustion a volúmen constante.—Valor

$$\text{máximo de } t = (273 + t_0) \frac{p}{P_0 K} - 273.$$

$$\text{Valor mínimo de } t = (273 + t_0) \frac{p}{P_0} - 273.$$

$$\text{Temperatura de la llama } T = \frac{C}{2} : P = \frac{C}{2 P'} \quad \text{— Temperatura}$$

media T de la zona luminosa.—Fórmula: $0,6 T + 0,4 + 400 = 756$; $T = 993^\circ$.

Temperatura media de la llama del hidrójeno $34462 = 9$ [0,48. $T - 100 + 637$] influencia de la disociacion.

Ejercicios: 1.º Calcular el calor i la temperatura de combustion de un carbon de roble compuesto de $H = 2,83$; $C = 87,68$; $O = 6,43$; cenizas 3,06.

2.º Calcular la temperatura de combustion de una hulla compuesta de $C = 0,83$; $H = 0,04$; agua = 0,09; ázoe = 0,01; cenizas = 0,03.

3.º Calcular el calor i la temperatura de combustion de un combustible compuesto de $H = 2,80$; $C = 87,60$; oxígeno 6,43; ázoe 0,17; cenizas 2.

4.º Calcular la temperatura máxima producida por la combustión del hidrógeno en presencia del aire:

$$t = \frac{0,55 \times 29000}{0,45 \times 3,404 + 4,95 \times 0,475 + 3,05 \times 0,218 + 26,8 \times 0,244}$$

5.º Calcular la temperatura máxima producida por la combustión del óxido de carbono al aire:

$$t = \frac{0,500 \times 2403}{0,500 \times 0,248 + 0,785 \times 0,216 + 0,285 \times 0,218}$$

6.º Calcular la temperatura máxima producida por la combustión del carbono con el aire:

$$t = \frac{0,50 \times 8080 + 0,5 \times 2473}{1,167 \times 0,248 + 1,833 \times 0,216 + 0,667 \times 0,218 + 8,928 \times 0,244}$$

7.º Calcular la temperatura máxima de un combustible cualquiera en presencia del aire.

Correcciones relativas a la temperatura de los combustibles a 0º.

12.ª LECCION.—*Los tres problemas fundamentales relativos a la combustión.*

1.º Problema.—Investigar el volúmen de aire necesario a la combustión i el volúmen de los productos gaseosos.

2.º Determinación de la mas alta temperatura que se puede obtener con cada combustible.

3.º Calcular la cantidad de calor que se llevan los productos de la combustión.

Solución del 2.º problema. — Cálculo relativo a la combustión de 1 kg. de carbono trasformado en ácido carbónico.

Fórmulas:

$$N = (CO^2 \times c + A z \times c') T; T = \frac{N}{CO^2 \times c + A z \times c'}$$

$$T = \frac{8080}{3,667 \times 0,2164 + 8,984 \times 0,244}$$

Calcular la mas alta temperatura producida por la combustion de 1 kg. de hidrójeno:

$$N = (HO \times c'' + A z \times c') T; T = \frac{N}{HO \times c'' + A z \times c'}$$

Fórmula jeneral para un combustible cualquiera:

$$N = T [HO \times 0,50 + CO^2 \times 0,2164 + A z \times 0,244 + A \times 0,2377 + p \delta] + p \lambda;$$

$$T = \frac{N - p \lambda}{HO \times 0,50 + CO^2 \times 0,2164 + A z \times 0,244 + A \times 0,2377 + p \delta}$$

Solucion del 3.^o problema $Q = N$.

$$Q = T (HO \times 0,50 + CO^2 \times 0,2164 + A z \times 0,244 + A \times 0,2377 + p \delta + p \lambda)$$

En la industria se debe dar la preferencia a los combustibles que desarrollan las temperaturas mas elevadas.

13.^a LECCION.—*Calcular la cantidad de aire necesaria a la combustion de los varios combustibles.*

Solucion del 1.^{er} problema.—Depende de la composicion del combustible.

Trasformacion del oxígeno del aire en ácido carbónico.—Cálculo del ácido carbónico.—Trasformacion del oxígeno del aire en vapor de agua.

Calcular a 1° i a H de presion la cantidad de aire necesaria para la combustion de 1 kg. de hulla compuesta de $C = 0,8672$, H libre = $0,0394$, agua de constitucion = $0,0482$, ázoe = $0,0110$, agua higométrica = $0,0152$, cenizas = $0,0190$.

La determinacion de las dimensiones de las chimeneas exige el conocimiento del volúmen de aire afluente. El volúmen del aire afluente sirve de base a los cálculos de las dimensiones de los conductos o cañería de llegada i de salida de los productos de la combustion.

Combustion del carbono.—Volúmen de aire, de oxígeno i peso de aire, de oxígeno para quemar 1 kg. de carbono.—Peso de los productos de la combustion.—Casos de combustion completa e incompleta.

Combustion del óxido de carbono, del hidrógeno, del hidrógeno proto-carbonado, combustion de un combustible cualquiera.

Calcular la cantidad de aire que se necesita para quemar 1 kg. de hulla compuesta de $C=0,83$, $H=0,05$, oxígeno $=0,08$, $Az.=0,01$, cenizas $=0,03$.

Cantidad práctica en los focos industriales.

Calcular el volúmen i el peso del aire para quemar 1 kg. de leña compuesto de $C=0,350$, $H=0,042$, O i $Az.=0,294$, agua $=0,300$, cenizas $=0,014$.

Cálculo del volúmen de los gases que salen por las chimeneas.

Calcular la proporcion de oxígeno libre dentro de los gases de la combustion.

Peso del aire introducido en la práctica industrial para quemar 1 kg. de hulla.

Calcular el calor que se llevan los productos de la combustion de 1 kg. de carbono.

$$Q = V(t - \theta) [0,383 \times 0,214 + 0,925 \times 0,244 + V \times 0,010 [637 - \theta + 0,475(t - 100)]]$$

Calcular el calor que se llevan los productos de la combustion de 1 kg. de hidrógeno.

$$Q = 28,8(t - \theta) [0,001 \times 0,214 + 0,925 \times 0,244] + 28,8 \times 0,313 [637 - \theta + 0,475(t - 100)]$$

Calcular el calor que se llevan los productos de la combustion de 1 kg. de leña compuesta de $C=0,350$, H libre $=0,005$, agua de constitucion $=0,333$, agua higrométrica $=0,300$.

Calcular el valor industrial de un combustible o el precio de la unidad de calor $\frac{P}{C}$.

Calcular la cantidad de combustible que se debe quemar para producir un efecto dado. $\frac{N}{n C}$

Calcular el peso de combustible que se necesita para calentar V metros cúbicos de un cuerpo a la temperatura t .

Calcular la cantidad de carbono que se necesite para producir P kilogramos de vapor en una máquina de extracción de minerales u otra.

14.^a LECCION.—*Resúmen de los datos sobre la combustion.*

1.º Masa de aire necesaria para la combustion completa de 1 kg. de combustible.

Masa teórica $P = 0 \text{ kg. } 012 \left[C + 3 \left(H - \frac{O}{8} \right) \right]$. Masa práctica
 $\pi = m P$.

2.º Volúmen de los productos de la combustion.

Calcular el volúmen de los productos de la combustion de una turba seca compuesta de $C = 450$, $H = 40$, $O = 240$, humedad = 250.

3.º Constante de los productos de la combustion para calcular las dimensiones de los aparatos de combustion.

$$B = R_0 \frac{V + v}{V} \times \frac{\pi}{\pi + 1}$$

Ejercicios.—1.º Calcular el poder calorífico de una leña seca que tenga por %, $C = 50$, $H = 6$, oxígeno = 41, As i cenizas = 3.

2.º Cual es la cantidad de carbono contenida en un combustible que, quemándose con el litargirio, ha dado 30 gramos de plomo i cuál es la potencia calorífica de dicho combustible.

4.º Calcular el efecto calorífico de un combustible, que tenga la composicion siguiente: $C = 57,5$, $H = 4,9$, $O = 31,2$, cenizas = 6,4. $\frac{8080}{100} = \frac{N}{x}$.

4.º Calcular el efecto calorífico o la cantidad de carbono puro contenido en una leña de 2 m.³ 840 o kgs. 1026,600, que desarrolle 54798 calorías o 19234 por m.³

5.º Calcular la potencia calorífica i el efecto calorífico de un combustible compuesto de $C = 0400$, $H = 0,048$, $O = 0,328$, agua higrométrica = 0,200, As i cenizas = 0,024.

6.º Calcular el poder calorífico de un combustible que ha su-

ministrado los datos siguientes al calorímetro: P = peso del combustible quemado, m = peso del agua, p = peso del calorímetro, c = calor específico, t = temperatura inicial del agua, t' = temperatura final; x = poder calorífico = $\frac{(t' - t) m + p c (t' - t)}{P}$.

7.º Calcular la temperatura de la combustión de 1 gr. de carbon de leña quemado por gr. 2,67 de oxígeno formando ácido carbónico. $T = \frac{P c}{(P + 2,67 P) C''}$

con ázoe del aire $T = \frac{P c}{(P + 2,67 P) c' + p c''}$

con agua $T = \frac{P c - m \lambda}{(P + 2,67 P) c' + p c'' + m K}$

15.ª LECCION.—*Resumen de los datos sobre el poder calorífico.*

Recuerdo de los métodos para determinar el poder calorífico.

1.º Método de los calorímetros.

2.º Método basado sobre la potencia vaporizadora de los combustibles.—Fórmula de Regnault: $C = 606,5 + 0,305 T$.

Potencia vaporizadora $\frac{N}{625}$. — Poder calorífico (Sainte-Claire

Deville) = $\frac{P(637 - T) + p(t - t')}{M}$.

3.º Método basado sobre la lei de Delong. $C = p \times 8080$ calorías + $\left(p' - \frac{p''}{8}\right) 34462$ calorías.

Un gas de alumbrado contiene de C^2 H^4 , 429 gr., C^4 H^4 , 25 gr., CO , 88 gr., H , 19 gr., Ázoe = 50. Calcular la potencia calorífica $C = 0,429 \times 11,760 + 0,025 \times 11150 + 0,088 \times 2403 + 0,19 \times 29,000 = 6087$.

4.º Método basado sobre la lei de Welter.

5.º Método de Bérthier.

Calcular la temperatura de combustion T desarrollada por un peso P de combustible de potencia calorífica C que produzca el peso p de productos quemados de calor específico c , $T = \frac{PC}{pc}$

$$\text{Fórmula jeneral } T = \frac{\Sigma PC}{\Sigma pc}$$

16.^a LECCION.—*Análisis de los gases de la combustion.*—Necesidad de este análisis para los metalurjistas.—Accion de ciertos gases sobre las parrillas de los hornos i sobre las calderas.—Utilidad de reconocer los gases que se desprenden de ciertas reacciones metalúrgicas.

Manera de recojer los gases de los altos hornos i hornos metalúrgicos.

Análisis de los gases de los altos hornos i hornos metalúrgicos.

Métodos eudiométricos—Bunsen.—Volumétrica: Winkler.—Aparato Dorsat.

Ensayo de los combustibles.—Determinacion de las cenizas del agua, del rendimiento en carbono, en coke, en gases; determinacion del azufre, del fósforo.

17.^a LECCION.—*Combustibles en jeneral.*—Clasificacion.—Propiedades de los combustibles.—Su orijen.—Sus yacimientos.

18.^a LECCION.—*Combustibles sólidos naturales. Leñas.*—Composicion de la madera.—Composicion de las maderas combustibles: carbon, cenizas, densidad, clasificacion, peso.—Maderas i leñas de Chile.

Potencia calorífica de las leñas.—Cantidad de calor producida por la combustion de 1 kg. de leña.—Combustion de las diferentes leñas.

Turbas.—Propiedades, composicion, yacimientos.—Precio de extraccion, de preparacion.—Potencia calorífica.

Calcular la potencia calorífica de una turba que contenga: $C = 61,05$, $H = 2,39$, cenizas = 4, agua = 25.

Calcular la potencia calorífica de una turba compuesta de $C = 65,59$, $H = 5,60$, $O = 24,67$, $Az = 2,04$, cenizas = 2,10.

19.^a LECCION.—*Combustibles fósiles: lignitas, hullas, antracitas.*

Lignitas: lignitas chilenas.—Propiedades, composicion, yacimientos.—Potencia calorífica.—*Hullas:* Propiedades, composicion, yacimientos.—Potencia calorífica.—Hullas inglesas, americanas, australianas, etc.

Antracitas: Propiedades, composicion, yacimientos.—Antracitas americanas.—Potencia calorífica.

20.^a LECCION.—*Combustibles sólidos artificiales: carbon de leña, coke.*

Carbon de leña: Propiedades, composicion, rendimiento en carbon.—Potencia calorífica.—Carbonizacion de la madera.—Varios procedimientos.—Precio de costo de la carbonizacion.—Destilacion de la madera.—Productos.

Carbon de turba: Carbonizacion de la turba.—Costo del carbon de turba.

21.^a LECCION.—*Coke:* Propiedades, composicion, cenizas.—Peso.—Potencia calorífica.—Carbonizacion de la hulla.—Hornos de carbonizacion.

Calor perdido por la carbonizacion.—Rendimiento de la hulla en coke.—Precio de costo del coke.—Precio de costo de los hornos de carbonizacion.—Empleo del calor perdido de los gases de hornos de coke.—Cálculo del calor despejado por la combustion de los gases de los hornos de coke.—Calor desarrollado por la carbonizacion.

22.^a LECCION.—*Combustibles aglomerados.—Fabricacion industrial.*—Materias de aglomeracion.—Alquitran.—Métodos de fabricacion.—Aparatos de aglomeracion, compresores.—Precio de costo de los aglomerados.—Carbones moldados en cilindros, prismas, ladrillos, tortas, etc.—Carbonizacion.

Algunas consideraciones prácticas sobre el empleo de los combustibles sólidos.

23.^a LECCION.—*Combustibles líquidos.—Alquitranes i aceites minerales.*—Alquitran.—Potencia calorífica.—Empleo como combustible.—Hornos i focos para su combustion.—Aceites minerales.—Petróleo.—Quemadores Sainte-Claire Deville.—Precio de costo del petróleo.—Empleo de los vapores carburados como motor.—Temperatura de combustion de los hidrocarburos.

24.^a LECCION.—*Combustibles gaseosos.*—Orijen i preparacion.

—Propiedades.—Potencia calorífica.—Gas de antracita al gasógeno, gas de coque, gas de hulla, gas de agua, gas de los altos hornos, gas de lignitas al gasógeno, gas de turba i de leña.—Lavado i purificacion de los gases de los gasógenos.—Cálculo de la cantidad de agua.—Dispersion o derrame del calor en los aparatos industriales.—Cálculo de la pérdida de calor por las paredes.—Comparacion entre el gas de agua (CO i H) i el gas de los hornos (CO i $Az.$).

Temperaturas comparadas dadas por los gases de los hornos i el gas de agua.—Gas óxido de carbono.

Ventajas del empleo del gas como combustible industrial i combustible usual.—Aplicaciones.—1.º Cantidad de combustible que hai que quemar por metro cuadrado de parrilla.—2.º Produccion de vapor por metro cuadrado i por hora.—3.º Reparticion del calor.—4.º Calentamiento del agua de alimentacion de los calderos.—5.º Utilizacion de las llamas perdidas por la recuperacion i por la rejeneracion o la acumulacion.

III.—Trasmision del calor

25.^a LECCION.—Trasmision del calor.—Conductibilidad.

Diferentes modos de trasmision: conduccion, radiacion, conveccion, mezcla.

Conduccion o conductibilidad.—Estado variable, permanente.—Principios de Fourier.—Lei de Lambert.—Lei de la trasmision del calor en un sólido a paramentos paralelos $M = S \cdot C \left(\frac{t-t'}{e} \right) z$.

—Coeficiente de conductibilidad.—Temperatura de la pared.—Reparticion de las temperaturas en un muro indefinito.—

Forma de la funcion $q = -(a_1 + a_2) \frac{ds}{dx} f(r)$.—Cantidad de calor que atraviesa la unidad de superficie:

$$Q = \Sigma \left[-(a_1 + a_2) \frac{df}{dx} F(r) = \frac{df}{dx} \Sigma (a_1 a_2) F(r) \right]$$

Reparticion de las temperaturas: $t = T_0 - \frac{T_0 - T}{d} x$.—Coefi.

ciente de conductibilidad interior K .—Coeficiente de conductibilidad exterior h : $K = \frac{T - T'}{d} = h (t_0 - T_0)$.

Medidas de los coeficientes de conductibilidad. — Métodos de determinación. — Despretz, Franz i Wiedemann. — Peclet, Forbes, etc.—Conductibilidad absoluta. — Cálculo jeneral del coeficiente C : $a = \frac{C s}{p d} = \frac{1}{m x} (\log. t_0 - \log. t)$. — Conductibilidad de los malos conductores. — Fórmula de Poiclet:

$$C = \frac{e Q (t' - t'')}{(t - t')}$$

Conductibilidad de los cuerpos líquidos, de los gases.

Problema jeneral: Dándose dos fluidos a dos temperaturas diversas, T_0 i T_1 , separados por un muro de paredes paralelas, determinar la cantidad de calor que pasa de un fluido a otro, conociendo las temperaturas T_0 , T_1 , las dimensiones i la naturaleza de las paredes i del muro.

$$q = A_0 C (T_0 - T_1); R = \frac{1}{C} = \frac{1}{e_0} + \frac{A_0}{e_1 A_1} + \frac{A_0}{c} \int_0^s \frac{dx}{A}$$

C = coeficiente de trasmision; R = coeficiente de resistencia.

Fórmulas de los coeficientes de resistencia: 1.º Paredes paralelas planas:

$$R = \frac{1}{C} = \frac{1}{e_0} + \frac{1}{e_1} + \frac{s}{e}$$

2.º Paredes entre dos superficies cilíndricas concéntricas:

$$R = \frac{1}{C} = \frac{1}{e_0} + \frac{1}{e_1} - \frac{r_0}{r_1} + \frac{r_0}{r_1} \log. \text{ nep. } \frac{r_1}{r_0}$$

3.º Entre dos superficies esféricas concéntricas:

$$R = \frac{1}{C} = \frac{1}{e_0} + \frac{1}{e_1} \left(\frac{r_0}{r_1} \right)^2 \frac{s r_0}{e r_1}$$

Trasmision del calor atravesando varias paredes planas, heterojéneas superpuestas.

Cantidad de calor que pasa por metro cuadrado a la hora:

$$\frac{Q}{A} = Q_1 = \frac{T - \theta}{\frac{1}{K} + \frac{e}{c} + \frac{1}{K'}}$$

Caso de una pared cilíndrica:

$$\frac{Q}{2\pi R} = Q_1 = \frac{T - \theta}{R \left(\log. \frac{R}{r} + \frac{1}{K r} + \frac{1}{K' R} \right)}$$

Coefficiente de conveccion h K ; coeficiente de radiacion h i :

$$q = e(T - t); e = h i + h' K; h = 124,72 \frac{a T - a t}{T - t}$$

$$h = 0,552 (T - t)^{0,233}; a = 1,0077$$

Trasmision del calor atravesando paredes vacías i huecas.

$$\text{Coeficiente de resistencia: } R = \frac{1}{e_0} + \frac{1}{e_1} + \sum \frac{\gamma}{c}$$

Fórmula de la pared vacía: $\frac{\gamma_1 \gamma^{-2}}{\gamma_1 \gamma^{-2}} = \frac{\gamma}{2}$; para la pared hue-

ca i plana: $R = \frac{1}{e_0} + \frac{1}{e_1} + \sum_1^n \frac{\gamma}{c} + \sum_1^{n-1} \frac{r}{(r d + \gamma)}$ — Variabilidad del coeficiente de trasmision.

Trasmision a temperatura variable con el tiempo:

$$p dt = C S (T - t) d\theta; \frac{C S \theta}{p} = 2,3026 \log. \frac{T - t_0}{T - t}$$

26.^a LECCION.— *Trasmision del calor por mezcla.*

Trasmision del calor de un cuerpo caliente a un cuerpo frio.
Calor transmitido i temperaturas finales:

$$x = \frac{P C T + p c t}{P C + p c}; M = \frac{P C + p c}{P C + p c} (T - t)$$

Influencia del cambio de estado.

Aplicaciones i problemas: 1.^o Calcular la cantidad de calor

que pasa atravesando los cristales de una pieza a ventanas cerradas.

2.º Calentar agua por medio de un serpentino en cobre.

3.º Se necesita calentar un cierto peso de agua P por el vapor de agua a 100° , de manera que el vapor se condense en el líquido que debe calentarse. ¿Cuál es la temperatura final? La temperatura inicial es t , P' el peso del vapor condensado.

Radiacion i conveccion.—Varios casos de trasmision del calor en los fluidos en movimiento.

Leyes del enfriamiento.—Lei de Newton.—Leyes de la radiacion. — La cantidad de calor perdida:

$$Q = S' Z t = P C V; t = t_0 e^{\frac{S E}{P C} x}.$$

Leyes de Dulong et Petit.—Enfriamiento en el aire, en el vacío. — Fórmulas del calor transmitido:

$$Q = R + F; R = A (a^t - a^\theta) z; F = B h^c (t - \theta) z^{1,233}$$

Fórmulas de Dulong et Petit:

$$V = f(t) = \frac{dt}{dx}; t = \phi(x); t = t_0 A^{x^2} + Bx^2.$$

Velocidad del enfriamiento en funcion de

$$M_1 N_1 S_1 F_1 \theta_1 t, V = f(M_1 N_1 S_1 E_1 \theta_1 t)$$

Coficiente de conveccion.—Para los cuerpos esféricos de radio r :

$$F = 1,778 + \frac{0,13}{r},$$

cilíndricos:

$$F = 2,058 + \frac{0,0382}{r},$$

cilíndricos verticales de altura h i radio r :

$$\lambda = \left(0,726 + \frac{0,0545}{\sqrt{r}} \right) \left(2,43 + \frac{0,8758}{\sqrt{h}} \right)$$

para las superficies planas verticales:

$$F = 1,764 + \frac{0,636}{\sqrt{h}}$$

Lei jeneral del enfriamiento:

$$V = m a^{\theta} (a^t - 1) + n p t^{1.233}.$$

Coefficiente de enfriamiento K :

$$Q_1 S = P C V; V = \frac{S}{P C} Q_1; m = H \frac{S}{P C}; n = K \frac{S}{P C}$$

Fórmulas simplificadas por radiacion i conveccion:

$$m = a^{\theta} + 124.72 \frac{a^t - \theta}{t - \theta}; n = 552 \frac{(t - \theta)^{1.233}}{t - \theta}.$$

Valores de R i de F :

$$R = m r S (t - \theta) z; F = n f S (t - \theta) z;$$

$$M = R + F = (m r + n f) (t - \theta) S; K = m r + n f; M = K S (t - \theta) z;$$

$$K = r + f; M = (r + f) S (t - \theta) z.$$

Aplicaciones de las fórmulas:

$$\text{Fórmula: } M = K S (t - \theta) z \text{ i } K = m e + n f.$$

1.º Supongamos un tubo de m. 0,10 de radio, 1 metro de altura, lleno de agua a 35º, colocado en un recinto a una temperatura de 15º. Calcular la cantidad de calor transmitida por metro cuadrado i por hora.

2.º Supongamos que el agua sea a 100º i que la temperatura del tubo sea de 95º: ¿cuál será el calor transmitido por hora i por metro cuadrado?

Las leyes del calentamiento son las mismas que por el enfriamiento obrando en sentido contrario.

3.º Calcular la cantidad de calor transmitido por un tubo colocado en un recinto a 85º, interiormente lleno de vapor de agua a 100º.

4.º Calcular la cantidad de calor transmitido por un tubo de m. 0,10 de diámetro i de 100 metros de longitud, teniendo agua a 35º, colocado en un recinto a 10º.

27.ª LECCION.—*Conveccion por el agua, el vapor, etc.*

Aplicaciones: chimeneas, ventiladores, bombas.—Leyes de

la conveccion.— Fórmula del calor transmitido por conveccion: $F = n f S (t - \theta) z$.—Influencia de la velocidad del aire.—Tubos con superficies lisas, con nervaduras.

Conveccion por el agua: $F = n f S (t - \theta) z$.— Conveccion por el vapor de agua.

Problemas i aplicaciones: 1.º Calcular la cantidad de calor transmitida por un tubo de cobre liso de m. 0,04 de diámetro i de 50 metros de longitud, conteniendo vapor de agua a 5 atmósferas, colocado en un recinto cuya temperatura es de 20º.

2.º Se necesita calentar aire de 20º hácia 300º por medio de los productos de la combustion, cuyos productos se resfrian de la temperatura inicial de 1000º hácia 500º; calcular la cantidad de calor.

3.º Calcular la cantidad de calor transmitido por metro cuadrado por un tubo que contenga agua a 80º, colocado en el aire libre a 25º; velocidad del agua = m. 0,50.

4.º Calcular el coeficiente de trasmision del calor suponiendo que un tubo de fierro colado sea recorrido por una corriente de agua de velocidad = m. 0,1; el tubo exterior en el aire de velocidad de 1 metro a 15º i la cara de la pared a 35º.

5.º Una chimenea cilíndrica de fierro colado de 12 metros de altura i de m. 0,48 de diámetro interior, da salida al humo de un horno, recibéndolo en su base a la temperatura de 250º. La masa del humo, reducida en agua, vale 270 kgs. Se pide la temperatura del humo a la salida de la chimenea i la pérdida de calor que atraviesa las paredes de la chimenea, la temperatura de la atmósfera estando de 10º.

6.º Los productos de la combustion abandonan la superficie caliente de un caldero donde se evaporan 350 kgs. de agua por hora a la temperatura de 300º c. Para enfriarlos convenientemente, ántes de conducirlos a la chimenea, se coloca un sistema de trasmision con corrientes contrarias, recuperando una porcion del calor de dichos productos para calentar de 10º a 60º los 350 kgs. del agua de alimentacion que se deben introducir por hora en la caldera. La masa reducida en agua de los productos de la combustion en una hora es de 250 kgs. Se pide el área de la superficie caliente del sistema.

7.º Se quiere calentar a la hora 12,000 metros cúbicos de aire de -5º hácia +45º por medio del calor de los productos de la

combustion de un horno, que llegan al contacto de la superficie caliente a 600° c. Calcular el área que se debe dar a la superficie.

Método práctico para calcular la trasmision del calor.

Método esperimental para determinar el coeficiente de trasmision por Faston i Amos.

28.^a LECCION.—*Aplicaciones.*—*Trasmisiones del calor entre las paredes.*

Fórmulas jenerales:

$$M = S Q (T - \theta) z; \quad \frac{1}{Q} = \frac{1}{K} + \frac{e}{c} + \frac{1}{K'};$$

$$K = m r + n f; \quad K' = m' r' + n' f';$$

$$M = S Q (T - \theta) = S \left(\frac{(T - \theta)}{\frac{1}{K} + \frac{e}{c} + \frac{1}{K'}} \right)$$

Trasmision entre dos paredes con caras paralelas.—Pared cilíndrica:

$$M = 2 \pi R K l (T - t) z.$$

Pared esférica:

$$M = 4 \pi R^2 K (T - t) z \text{ i } M = 4 \pi R'^2 K (t' - \theta) z;$$

$$M = S Q (T - \theta) z.$$

Pared metálica: caloríferos, calderas de vapor, etc.—Influencia del espesor, de la temperatura.—Pared con nervaduras.

Trasmision en una pared entre dos fluidos en movimiento: 1.^o En el mismo sentido:

$$M = a P C (T_0 - T_1).$$

$$M = Q S [T_0 - t_0 - (T - t)] \\ \log. \text{ nep. } \frac{T_0 - t_0}{T - t}$$

Rendimiento.—Representacion gráfica de la trasmision.

Problemas: 1.^o Conociendo el peso i la naturaleza de dos fluidos, las temperaturas de entrada i de salida, determinar la

superficie S de trasmision, de manera que el fluido caliente sale resfriado a la temperatura T .

2.º Conociendo el peso i la naturaleza de los dos fluidos, las temperaturas iniciales T_0 i t_0 , la superficie de trasmision S , calcular las temperaturas T i t a los extremos de la superficie S i la cantidad M de calor transmitida.

2.º Fluidos en sentido contrario:

$$M = \frac{Q S [T_0 - t_0 - (T - t)]}{\log. \text{ nep. } \frac{T_0 - t_0}{T - t}}$$

Rendimiento.—Representacion gráfica.

Problema: Conociendo el peso de dos fluidos i su naturaleza, sus temperaturas de entrada (T_0 i t_1), la superficie de trasmision S_1 , calcular las temperaturas de salida (T_0 i t_1) i el calor transmitido.

Envolturas aisladoras.—Cantidad de calor absorbida:

$$M = S \delta c \int_0^a (y - \theta) dx.$$

29.ª LECCION.—*Aplicaciones.—Resultados de experiencias.*

Aplicaciones de las fórmulas:

$$M = S Q (T - \theta); \frac{1}{Q} = \frac{1}{K} + \frac{e}{c} + \frac{1}{K'}$$

Trasmision entre dos recintos de aire a aire.—Muros en mampostería, cubiertos de papel.—Muro exterior en yeso.—Muros en piedras, ladrillos.

Trasmision del calor por los vidrios.

Trasmision del calor del vapor al aire, tubos i aparatos con vapor.—Calorífero de vapor.—Tubos cilíndricos de fierro colado.—Tubos de cobre.

Peso de vapor condensado segun la forma i la naturaleza de los tubos.

Trasmision del calor del agua al aire.—Tubos i aparatos a agua caliente.—Tubos de fierro colado.

Trasmision del calor del vapor al agua: aparatos de concen-

tracion, de condensacion, calefaccion por el vapor.—Resultados de esperiencias, acuerdo con el cálculo.

Trasmision del calor de un líquido a un líquido.

Trasmision entre dos fluidos en movimiento: aparatos con aire caliente.—Tubos de caloríferos.—Trasmision entre un fluido en movimiento i un recinto.—Tubos de estufas.—Tubos en fierro colado, en fierro batido, en tierra cocida.

IV.—DERRAME DE LOS GASES I DE LOS VAPORES

30.^a LECCION.—Nociones sobre el derrame de los fluidos.—Propiedades de los gases.—Variaciones de presiones i variaciones de volúmen.—Ecuacion jeneral del movimiento de un fluido.—Trabajo mecánico de un gas.

Derrame de los gases por un orificio.—Velocidad:

$$V = \sqrt{2gh}$$

Derrame bajo un pequeño exceso de presion.—Velocidad del derrame:

$$V = \sqrt{2g \frac{E}{d}}$$

Volúmen:

$$S V = S \sqrt{2g \frac{E}{d}}$$

Velocidad media:

$$v = \sqrt{2g \frac{E}{d}}; \quad v = 396 R \sqrt{\frac{E}{E+B} \frac{1+at}{\delta}}$$

Fórmula jeneral.—Presion viva del aire.—Fórmula del volúmen derramado:

$$Q = \Omega v = 396 R \Omega \sqrt{\frac{E}{E+B} \frac{1+at}{\delta}}$$

Peso:

$$P^k = 1000 \Omega v d = 1000 R \Omega \sqrt{2g E d}$$

O

$$P^k = 49,5 R \Omega \sqrt{\frac{E(F+B)\delta}{1+at}}$$

Coefficiente de contraccion.—Influencia de la forma de las añadiduras cilíndricas, cónicas, converjentes, diverjentes.—Pérdida de carga por la contraccion de la vena.

Trabajo para comprimir un gas:

$$T = S H_0 z_0 \int_{Z_0}^{Z_1} \frac{dz}{Z} = S H_0 Z_0 \log. \text{ nep. } \frac{Z_0}{Z_1} = Q_0 H_0$$

$$\log. \text{ nep. } \frac{H_1}{H_0}; T = Q E = P \frac{V^2}{2g}$$

Derramamiento de un gas por un orificio bajo un exceso de presión cualquiera.

Fórmula de Wantzel i Saint-Venant:

$$v = 241 m \sqrt{\frac{E(1+at)}{E+B}}$$

Cálculo de la velocidad v , volúmen Q , peso P , sin exceso de presión por las fórmulas:

$$v = 396 \phi \sqrt{\frac{E}{E+B} \frac{1+at}{\delta}}; Q = 396 \phi \Omega \sqrt{\frac{E}{E+B} \frac{1+at}{\delta}};$$

$$P^k = 49,5 \phi \Omega \sqrt{\frac{E(E+B)\delta}{1+at}}$$

Cálculo de la velocidad v , volúmen Q , peso P , con exceso de presión por las fórmulas:

$$v = 241 m \sqrt{\frac{E(1+at)}{E+B}} \text{ o } v = 396 m \phi \sqrt{\frac{E}{E+B} \frac{1+at}{d}};$$

$$Q = 396 m \phi \Omega \sqrt{\frac{E}{E+B} \frac{1+at}{\delta}}$$

$$P^k = 49,5 m \phi \Omega \sqrt{\frac{E(E+B)\delta}{1+at}}$$

Fórmula de Navier:

$$V = \sqrt{2g \frac{p_1}{d_1} \log. \text{ nep. } \frac{p_1}{p_2}} \text{ o } V = 600 \sqrt{\frac{1+at}{\delta} \logar. \frac{p_1}{p_2}}$$

$$P^k = 75,14 \phi \Omega p_2 \sqrt{\frac{\delta}{1+at} \logar. \frac{p_1}{p_2}}$$

Fórmulas deducidas de la termo dinámica:

$$V = \sqrt{\frac{2gCT_1}{A} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right) \frac{K-1}{K} \right]}; P^k = \phi \Omega p_2 \frac{K}{K-1} \left(\frac{p_1}{p_2} \right) \\ \frac{K-1}{K} \sqrt{\frac{2gA}{CT_1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right) \frac{K-1}{K} \right]}$$

Comparacion de las fórmulas últimas con las anteriores.

31.^a LECCION.—*Derrame del vapor de agua por un orificio.*

Aplicacion de las fórmulas relativas a los gases:

$$V = 501,73 \text{ m } \phi \sqrt{\frac{(n-n_0)(1+at)}{n}}; P^k = 403,3 \text{ m } \phi \Omega \sqrt{\frac{n(n-n_0)}{1+at}} \\ \text{o } P^k = 200 \phi \Omega n.$$

Fórmula de la válvula de seguridad:

$$D = 1,3 \sqrt{\frac{S}{n-0,412}}; P^k = 209,4 \Omega (n-0,412).$$

Fórmula de Resal que da el derrame del vapor en la atmósfera:

$$P^k = \Omega \sqrt{\frac{10334 (n-1) \pi_0 g}{K}} \text{ o } P = \frac{403,5}{\sqrt{2K}} \Omega \sqrt{\frac{n(n-1)}{1+at}}$$

Esperiencias sobre el derrame del vapor para verificar las fórmulas.—Fórmulas deducidas de la termo-dinámica.—Fórmula de Zeuner no da resultados conformes con la esperiencia.

32.^a LECCION.—*Derrame de los gases i del vapor de agua por los tubos de conduccion o cañerías.*

Movimiento de un gas en un tubo de conduccion.—Frotacion i pérdida de carga.—La carga o la presion disminuye por frotacion.—Esperiencia.

Fórmula de la pérdida de carga:

$$e_1 - e_2 = \frac{K l P d v_2}{S 2 g}; V = \sqrt{\frac{2gE}{d(1+R)}}; V_1 = \frac{S}{S_1} \sqrt{\frac{2gE}{d(1+R)}}$$

Movimiento permanente de un gas en los tubos de conduc-

ción, teniendo cuenta de la frotación.— Ecuación diferencial del dicho movimiento:

$$\frac{u \, du}{g} = dz - \frac{d \rho}{\delta} - \frac{P}{\Omega} (a u + b u^2) dl$$

Ecuación general:

$$\frac{u_1^2 - u_0^2}{2g} = Z_0 - Z_1 + 18400 \times \frac{1+at}{\delta} \log \frac{\rho_0}{\rho_1} - \int_0^L \frac{P}{\Omega} (a u + b u^2) dl$$

$$\text{o } \frac{P}{\Omega} (a u + b u^2) L = Z_0 - Z_1 + 18400 \times \frac{1+at}{\delta} \log \frac{\rho_0}{\rho_1}$$

Resúmen de las fórmulas relativas al derrame de los gases con frotación en los tubos de conducción o cañería.

1.º Fórmula de la velocidad:

$$V = 396 \phi \sqrt{\frac{n-n_0}{n} \frac{1+at}{\delta}}$$

Para el aire:

$$V = 40 \phi \sqrt{10 \frac{n-n_0}{n}}$$

2.º Fórmula del volúmen:

$$Q = 396 \phi \Omega \sqrt{\frac{n-n_0}{n} \frac{1+at}{\delta}}$$

3.º Fórmula del peso derramado:

$$P^k = 49,5 \phi \Omega \sqrt{\frac{n(n-n_0)\delta}{1+at}}$$

4.º Fórmula del derrame del vapor de agua:

$$V = 501,73 \, m \phi \sqrt{\frac{n-n_0}{n} (1+at)}$$

5.º Fórmula del peso del vapor:

$$P = 200 \phi \Omega n$$

6.º Fórmula del trabajo para poner un gas en movimiento:

$$T = P \frac{v^2}{2g}; \quad P = Q d$$

7.º Fórmula de la pérdida de carga E por fricción:

$$e_1 - e_2 \text{ o } E = \frac{K L X}{\Omega} d \frac{v^2}{2g}$$

Caso de una cañería circular:

$$E = \left(\frac{1 + 4 K L}{D} \right) d \frac{v^2}{2g} \quad \text{i} \quad Q = \frac{\pi D^2}{4} v.$$

Problemas i aplicaciones: 1.º En una cañería de 0 m. 10 de diámetro i 200 metros de longitud, circula vapor de agua con una velocidad de 50 metros, la presión interior es de 5 atmósferas a la temperatura de 150º c. Calcular la pérdida de carga E .

2.º ¿Cuál es el diámetro que debe tener una cañería de longitud L para dar un volumen Q bajo una presión E al orijen?

3.º Calcular el diámetro de una cañería capaz de derramar por segundo 100 litros de aire a 0º bajo un exceso de presión de 0 m. 02, espresada en altura de agua.

4.º Se necesita dividir una corriente de gas circulando en una cañería en dos o varias corrientes parciales. ¿Cuál es el diámetro que se necesita dar a la cañería principal i a cada uno de los troncos parciales?

Fórmula de Arson:

$$h = E - e \frac{4L}{D} d (a v + b v^2); \quad K = 2 g \left(\frac{a}{v} + b \right)$$

Valores de K , cañerías de tierra cocida, de fierro, de galerías de minas.

33.^a LECCION.— *Cambio de dirección i de sección en la cañería.*
— *Aplicaciones.*

Cambio de dirección.—Pérdida de carga E por cambio de dirección:

$$\mu d \frac{v^2}{2g} = E;$$

Valores de μ .

Una cañería de vapor presenta 15 codos a 90° en la longitud. La presión es de 5 atmósferas o la temperatura de 153°; la velocidad del vapor es de 50 metros. Calcular la pérdida de carga por los 15 codos.

Cambio de sección.—Disminución de sección.—Pérdida de carga:

$$E = \left(\frac{1}{\phi^2} - 1 \right) d \frac{v^2}{2g}$$

Calcular la pérdida de carga en una cañería donde circula el aire con una velocidad de 2 metros con 20 disminuciones de sección.

Aumento de sección.—Pérdida de carga:

$$E = (V - v)^2 \frac{d}{2g}; \text{ o } E = \left(1 - \frac{\omega}{\Omega} \right)^2 \frac{V^2}{2g} \text{ i } F = \left(\frac{\Omega}{\omega} - 1 \right)^2 d \frac{v^2}{2g}$$

Calcular la pérdida de carga en una cañería en la cual el aire circula con un aumento de sección; la velocidad en la sección chica es de 2 metros i de 1 m. 20 en la sección mayor.

Pérdida de carga E en un haz tubular:

$$E = \left[\left(\frac{1}{\phi^2} - 1 \right) + \frac{4KL}{D} + \left(1 - \frac{\omega}{\Omega} \right)^2 \right] d \frac{v^2}{2g}$$

Calcular la pérdida de carga en un haz tubular compuesto de tubos de 0 m. 05 de diámetro i 4 metros de longitud, el cajón tiene un diámetro de 0 m. 50, la velocidad del gas es de 1 m. 50 i su densidad 1,13.

Pérdida de carga total en una cañería de forma cualquiera:

$$E - e = (\gamma_1 + r_2 + r_3 + \dots) e \text{ o } E - e = R e$$

Comparación de las resistencias de las diversas cañerías de formas diferentes.—Fórmula que da la presión E en altura de agua para hacer circular 1 metro cúbico de aire por segundo:

$$E = \frac{d(1+R)}{2g\omega^2};$$

Resistencia específica F :

$$F = \frac{E}{Q^2}$$

Aplicacion al derrame del aire en una mina.

Temperamento de una mina:

$$Tem = \frac{Q}{\sqrt{1000 E}}$$

Orificio equivalente de una mina:

$$Q = \phi_0 \Omega_0 \sqrt{\frac{2g E}{d}} \text{ i } \phi_0 \Omega_0 = \frac{Q}{\sqrt{\frac{2g E}{d}}}$$

Relaciones entre R , F i Tem :

$$\phi_0 \Omega_0 = \frac{\omega}{\sqrt{1+R}} = \sqrt{\frac{d}{2g F}} = Tem = \sqrt{\frac{1000 d}{2g}}$$

Influencia de un rejistro sobre el derrame de los gases. Fórmula del rejistro:

$$E = \left[\frac{1}{\phi^2} - 1 + \left(1 - \frac{\omega}{\Omega} \right)^2 \right] d \frac{v^2}{2g} = \left[\frac{1}{\phi^2} - 1 + \left(1 - \frac{\omega}{\Omega} \right)^2 \right] \frac{\Omega^2}{\omega^2} d \frac{v^2}{2g}; Ne = E = \left[\frac{1}{\phi_1^2} - 1 + \left(1 - \frac{\omega_1}{\Omega_1} \right)^2 \right] d_1 \frac{V_1^2}{2g}.$$

$$N = \left[\frac{1}{\phi^2} - 1 + \left(1 - \frac{\omega^1}{\Omega_1} \right)^2 \right] \frac{\omega^2}{\omega_1^2} \frac{d}{d_1}$$

Relacion de las velocidades:

$$\frac{v_1}{v_1} = \frac{\Omega_1}{\omega_1} \sqrt{\frac{1+R}{1+R+N}}$$

Resistencia de una parrilla cargada de combustible.—Resistencia de otras materias.

Observaciones relativas al establecimiento de las cañerías de gas.

34.^a LECCION.—*Derrame del vapor de agua en los tubos i cañerías.—Aplicaciones.—Resúmen.*

Pérdida de carga en un tubo rectilíneo con seccion constante:

$$E = e_1 + e_2 ; e_1 = \frac{Klx}{\omega} d \frac{v^2}{2g} ; e_2 = 10334 (n - n_1) = \\ = 10334 n \frac{P_1}{P}$$

Fórmula de la pérdida total de carga:

$$E = e_1 + e_2 = \frac{4l}{D} \left(\frac{Kv^2 d}{2g} + \frac{10,334 n p}{1000 vd} \right)$$

Pérdida mínima de carga.

Aplicaciones.—Cálculo del diámetro de una cañería de vapor.

—Un tubo de 50 metros da paso a 400 k. de vapor a la hora: el vapor es a 5 atmósferas, su densidad = 0,002573; ¿cuál es el diámetro?

Cálculo de la cantidad de calor suministrada para mantener una temperatura dada en una habitacion:

$$M = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 - C_1 - C_2$$

Calcular la cantidad de combustible quemado para obtener M calorías.

Problema.—Una casa mide 30 metros de longitud, 10 metros de ancho con tres pisos de 4 metros cada uno; la altura total es de 12 m.; los muros tienen 0 m. 50 de espesor, la temperatura exterior es de -6° ; se necesita mantener una temperatura interior de $+17^\circ$. Calcular la cantidad de calorías, la temperatura del aire caliente del calorífero i la cantidad de combustible a quemar por hora.

Pérdida de calor por el transporte del aire caliente i del vapor.

Problema.—Se quiere trasportar 100,000 calorías a una distancia de 30 metros; calcular las pérdidas por transporte empleando: 1.º el vapor, 2.º el aire caliente.

Cálculo de las dimensiones de un calorífero a aire caliente:

$$M = \rho \dot{p} s N = V \times 1,293 \times 0,2377 (t_0 - \theta)$$

Cantidad de combustible:

$$p s = \frac{M}{\rho N};$$

Superficie de la parrilla:

$$S = \frac{M}{\rho N};$$

Superficie de calentamiento:

$$S_1 = \frac{\rho + \lambda}{\rho m} M;$$

Seccion ω de la chimenea:

$$p s = 500 \omega \sqrt{\frac{H}{1+R}}; \quad \omega = \frac{p s}{500}$$

Problema.—Tenemos 2,000 metros cúbicos de aire a calentar de 0° a 80°: ¿cuáles serán: 1.º la cantidad de combustible a quemar; 2.º la superficie de la parrilla i la superficie de calentamiento; 3.º la seccion de la chimenea?

Secciones de las cañerías o tubos de conduccion de aire caliente.—Fórmula de la velocidad:

$$V = \sqrt{\frac{2 g H a (t - \theta)}{(1 + a \theta) (1 + R)}}$$

$$\text{Seccion } \Omega = \frac{Q}{V}; \quad Q \times \frac{1,293}{1 + a t} \times 0,2377 (t - \theta) = M$$

Problema.—Se quiere enviar en una habitacion de 4 pisos 100,000 calorías en una hora. ¿Cuál será la seccion de los conductos de aire caliente a 70°, si el aire exterior es a 15°?

35ª LECCION.—*Medida de las presiones i de las velocidades de los gases.—Manómetros.—Anemómetros.*

Medida de las presiones.—Manómetros.—Varias clases.—Manómetros a aire libre.—Manómetros a columnas diferenciales de Kretz.—Manómetros a columnas múltiples de Richard.—Manómetro a tubo inclinado, a campana, etc., manómetro a

aire comprimido.—Manómetros metálicos.—Medida manométrica de la velocidad de un gas.—Fórmula de la velocidad:

$$v = 7,455 \sqrt{h \frac{273+t}{p}}; \text{ o } v = 205,5 \sqrt{h \frac{273+t}{\delta}};$$

$$\text{ o } v = 0,2358 \sqrt{H \frac{273+t}{p}}$$

36.^a LECCION.—Anemómetros.

Anemómetro de Combes: $V = a + b N$.—Determinación de las constantes a i b .—Anemómetro de Biram, de Casartelli, de Morin.—Aparatos que dan una medida permanente de la velocidad del aire en las minas.—Anemómetros sumadores.—Indicador eléctrico de la velocidad del aire.

V.—APARATOS DE COMBUSTION EN JENERAL.—RECEPTORES DE CALOR

37.^a LECCION.—Aparatos de combustion.—Sus partes principales.—Condiciones que deben llenar.

Focos o fogones, hogares.—Focos para combustibles sólidos, líquidos, gaseosos.

Focos para combustibles sólidos.—Focos exteriores de calderas de vapor.—Parrillas.—Peso de combustible quemado por metro cuadrado de parrilla.—Superficie de la parrilla.—Cálculo de las dimensiones de la parrilla.

Focos interiores de calderas de vapor.—Focos de calderas de buques, de locomotoras, de locomóviles.—Focos de caloríferos de aire caliente.—Funcionamiento de los focos.—Hornos industriales.

38.^a LECCION.—Focos fumivores.

Focos de alimentacion continua, de carga revuelta, etc.—Focos de inyeccion de vapor, etc.—Focos de combustibles menudos.—Focos para combustibles líquidos.

39.^a LECCION.—Gasójenos.—Focos para combustibles gaseosos.

Varios gasójenos.—Cálculo de la temperatura de los gasójenos.

Análisis de los fenómenos que se producen en el gasójeno.

Acumuladores de calor.—Temperatura de los focos.—Aplicación a varios casos.

40.^a LECCION.—*Receptores de calor.*

Superficie de calentamiento directo o indirecto.—Superficie de contacto con los gases combustibles, etc.—Superficie total.—Rendimiento.—Disposiciones diversas de los receptores.

41.^a LECCION.—*Chimeneas.—Tiraje.*

Fórmulas: velocidad:

$$v = \sqrt{\frac{2 + g H a (t - \theta)}{(1 + a \theta)(1 + R)}}$$

Volúmen de los gases derramos en 1^o:

$$Q = \Omega v = \Omega \sqrt{\frac{2 g H a (t - \theta)}{(1 + a \theta)(1 + R)}}$$

Peso de los gases:

$$P = 1000 \Omega v d = 1000 \Omega \frac{d_0}{1 + a t} \sqrt{\frac{2 g H a (t - \theta)}{(1 + a \theta)(1 + R)}}$$

Presiones a los diferentes puntos de una circulación de gas con tiraje por chimenea.—Empleo del calor por el tiraje.—Trabajo del tiraje.—Influencia de las acciones físicas.—Registros, etc.

42.^a LECCION.—*Altura i secciones de las chimeneas.*

Construcciones.—Chimeneas de fábrica.—Altura.—Sección. Reglas empíricas para calcular las dimensiones de las chimeneas.

$$\text{Regla de Darcet: } S = 0,01 \frac{n}{3} \sqrt{\frac{10}{A}} = 0,01054 \frac{n}{\sqrt{A}}$$

$$\text{Regla de Redtembacher: } S' = \frac{n}{42 \sqrt{A}}. \text{—Aplicaciones.}$$

Cálculo del coeficiente de resistencia.—Resistencia de la parrilla, por fricción, por cambio de dirección i de sección.

Construcción de las chimeneas de fábricas.

Chimeneas de casas i de ventilación.

43.^a LECCION.— *Ventiladores.*

Ventiladores de fuerza centrífuga.—Ventiladores de hélice.—
Ventiladores de capacidad variable.

Tiros de vapor i de aire comprimido.—Aplicaciones a la ventilación.

Máquinas soplantes.

V.—CALENTAMIENTO DE LOS SÓLIDOS, LÍQUIDOS, GASES

44.^a LECCION.— *Calentamiento de los sólidos.*

Hornos i hornillos.—Empleo del calor perdido.—Diversas clases de hornos.—Reverbero.—Siemens, Ponsard, Hoffmann.—Hornos a gases.

Calentamiento por medio del gas.—Aparatos diversos.

45.^a LECCION.— *Calentamiento de los líquidos.*

Varias maneras.—Aparatos.—Cálculo de una circulación de agua caliente.—Cálculo de un generador de vapor.—Calentamiento i condensación del vapor.

46.^a LECCION.— *Calentamiento de los gases.*

Mezcla.—Convección.—Utilización del calor.—Acumuladores de calor.—Recuperadores.—Varias.—Vapor sobrecalentado.—Cálculo de la cantidad de calor necesario.

47.^a i 48.^a LECCIONES.— *Generadores de vapor o calderas de vapor.*

Consideradas como receptoras de calor.—Formación del vapor.—Vapor de agua.

Clasificación de las calderas.—Su descripción en el sentido del mejor empleo del calor.—Motores de vapor.

Ventilación i calentamiento de las viviendas i otros lugares habitados

49.^o LECCION.—Ventilación.—Viciación del aire.—Volumen de aire necesario.—Temperatura del aire de ventilación.—Varios sistemas de ventilación.—Condiciones de una buena ventilación.—Ventilación natural.—Dimensiones de los tubos.—Re-

lacion entre la temperatura del ambiente i la velocidad del aire.—Ventilacion por chimeneas.—Velocidad del aire.

Cálculo de las dimensiones de las chimeneas de llamado i de los aparatos de calentamiento del aire de ventilacion.

$$V' = \Omega v; v = \sqrt{\frac{2 g a H (T - \theta)}{(1 + a \theta) (1 + R)}}$$

i

$$v = \sqrt{\frac{2 g a}{1 + R} [H (T - \theta \pm h) (t - \theta)]}$$

Consumo horario del calor para la ventilacion.

Ventilacion mecánica.—Manera de refrescar el ambiente.—Cálculo de los aparatos de calentamiento del ambiente.—Influencia de la discontinuidad del calentamiento.—Enfriamiento producido por un período de inaccion.—Aplicaciones.

50.^a LECCION.—*Calentamiento.*

Temperatura de las viviendas.—Temperatura exterior.—Cantidad de calor necesaria al calentamiento de las habitaciones.—Calor producido por la respiracion, por los aparatos de alumbrado.—Cantidad total de calor que suministrar.—Aplicaciones.—Cantidad de calor por metro cúbico de capacidad.—Establecimiento de un réjimen de temperatura.—Tiempo necesario para establecerlo.—Reglas para el calentamiento de las viviendas.

51.^a LECCION.—*Aparatos de calentamiento o de calefaccion.*

Clasificacion.—Chimeneas de las casas de habitacion.—Chimeneas perfeccionadas.—Chimeneas de gas.—Chimeneas humeantes.—Cálculo de una chimenea, de una chimenea de vivienda.

Estufas.—Varias clases.—Estufas móviles.—Estufa de gas.—Estufas de circulacion.—Dimensiones de las estufas.—Rendimiento.—Superficie de calentamiento.—Tipos de estufas.

Caloríferos de aire caliente.—Caloríferos de tubos horizontales.—Caloríferos de circulacion vertical.—Varios tipos.—Caloríferos cerámicos.—Cálculo de las dimensiones de un calorífero de aire caliente.

52.^a LECCION.—*Calentamiento por el agua i el vapor.*

Varios sistemas de calefaccion por el agua caliente.

Calentamiento con agua sin presion.—Calderas de agua caliente.—Calderas tubulares horizontales, multitubulares, calderas verticales.—Varias disposiciones de calentamiento por circulacion de agua caliente.—Cálculo de las dimensiones de los aparatos.

Peso del combustible, superficie de la caldera, de la parrilla, etc.—Calentamiento por el agua caliente con presion.—Sistemas diversos.—Calentamiento por el vapor.—Calderas.—Cálculo de las dimensiones de los diversos aparatos de una instalacion de calentamiento a vapor.

Calentamiento misto por agua caliente i vapor.

53.^a LECCION.—*Destilacion.—Evaporacion.*

Destilacion.—Destilacion simple.—Cálculo de un aparato de destilacion.—Aparato de destilacion de efectos múltiples.—Destilacion del agua del mar.—Destilacion de los líquidos mezclados.—Destilacion del alcohol.—Cantidad de calor necesaria para obtenerla.—Varios aparatos.—Derosne, Savalle, etc.—Rectificacion del alcohol.—Destilacion del alquitran de hulla.—Destilacion de los aceites de petróleo.

54.^a LECCION.—*Evaporacion.*

Evaporacion por disolucion en el aire.

Evaporacion sin intervencion de calor artificial, con intervencion de calor artificial.—Cálculo del calor necesario.

Evaporacion a la temperatura de ebullicion.—Evaporacion bajo la presion atmosférica.—Evaporacion en el vacío.—Evaporacion de efectos múltiples.

55.^a LECCION.—*Enjugamiento.—Enjugadores o secadores.*

Enjugamiento por procedimientos mecánicos.

Enjugamiento por corriente de aire.—Cálculo de un enjugador de aire caliente.—Tipos de secadores.—Enjugamiento metódico.—Enjugadores para tejidos, maderas, etc.

Enjugamiento por calentamiento directo.—Varios tipos de enjugadores.—Enjugador de vapor.

56.^a LECCION.—*Desinfeccion.*

Estufas a gas.—Estufas de aire caliente.—Estufas de aire caliente i de vapor sin presion.—Estufa de vapor sobrecalentada.—Estufa a vapor con presion.—Estufa Geneste i Herscher.—Estufas locomóviles.

57.^a LECCION — *Enfriamiento.*

Enfriamiento.—Varios modos de enfriamiento.—Refrigerantes.

Enfriamiento del aire.

Produccion del frio i del hielo.—Disolucion de sales.—Vaporizacion en el vacío.—Vaporizacion de un gas liquidificado i enfriado.

Máquinas de detencion de gas comprimido.—Cálculo del enfriamiento que puede producir la detencion de un kilogramo de aire comprimido.—Máquinas de evaporacion de líquidos, etc., de compresion de vapores derramados.—Varias máquinas de éter, de amoníaco, de ácido sulfuroso, etc.—Cálculo de la cantidad de ácido sulfuroso.—Aparato de ácido sulfúrico líquido, de cloruro de metyle.

Máquinas de evaporacion de líquido i de disolucion de vapores producidos.—Aplicaciones.—Fabricacion del hielo transparente.—Enfriamiento del aire a baja temperatura.—Conservacion de las materias orgánicas por el frio.

58.^a LECCION.— *Aire comprimido.—Su empleo.*

Aire comprimido.—Compresion del aire.—Compresion isotérmica.—Compresion adiabática.—Lei de Laplace.—Trabajo de la compresion.—Aparatos para comprimir el aire.—Compresores.—Compresor Sommeiller.—Compresores Dubois i François, Colladon, etc.—Cañería del aire comprimido.—Trasporte de la fuerza por el aire comprimido.—Empleo del aire comprimido en las minas, etc.

Fuerza motriz por el aire comprimido.—Aplicaciones dinámicas.—Motores de aire comprimido.—Aplicacion del aire comprimido, como motor, al alumbrado eléctrico.

Aplicaciones del aire comprimido a la ventilacion, al calentamiento.—Aplicaciones mecánicas.—Precio de costo del aire comprimido.

Aplicaciones prácticas de ingeniería.—Proyectos sobre las lecciones de termo-técnica anteriores.

(*Concluirá*)

A. F. NOGUÈS

Ingeniero civil de minas, profesor de física industrial
i tecnología en la Universidad

