Director Tècnic
JOSEP I. MIRABET
Enginyer Industrial

Director Delegat
JAUME FONT I MAS

Administració
VIA LAIETANA, 39
Telèfon 12425

TÈCNICA
REVISTA TECNOLÒGICO INDUSTRIAL
PUBLICADA PER
L'ASSOCIACIÓ D'ENGINYERS INDUSTRIALS DE BARCELONA

Es publica el dia 15 de cada mes

Número solt 1'50 ptes.

Subscripció anyal 12 ptes.

Demanis la tarifa d'anuncis

Any LIV - Núm. 167 • Adherida a l'Associació Espanyola de la Premsa Tècnica • Desembre de 1932

SUMARI:

SECCIÓ TÈCNICA

FUNCIONAMENT DE LES XEMENEIES

per **P. Piñol Jardi**, Enginyer industrial

Un corrent d'aire que circula per la instal·lació, entrant per la porta del cendrer i sortint per la boca de la xemenèia, és alterat en la seva composició química i escalfat al atravessar l'engraellat i posarse en contacte amb el combustible incandescent.

El treball necessari per produir i mantenir aquest corrent gaseós, es compon de les partides següents:

1a Treball necessari per vèncer l'acció de la gravetat, trasladant la massa gaseosa des del nivell del engraellat fins a la boca de sortida de la xemenèia. Designem per H aquest desnivell; per δ la densitat dels gasos a la temperatura de la xemenèia, que suposarem constant en tot el seu recorregut; i per V el volum gaseós que circula en la unitat de temps. Aquest treball valdrà:

$$V\delta H$$

2a Treball necesari per vencer el conjunt de resistències pasives en tot el recorregut. Aquest treball el dividirem en dues parts:

a) Des del registre fins a la boca de sortida.

b) Des de la porta del cendrer fins al registre.

a) El treball esmerçat en aquest trajecte, suma dels treballs esmerçats en cada punt del mateix, serà, posant les velocitats locals en funció de la velocitat V_s a la sortida de la xemenèia:

$$V\Sigma k \frac{v^2}{2g} = VK_1 \frac{v_s^2}{2g}$$

en la que K_1 es un coeficient de les dimensions d'una densitat, que engloba el conjunt dels coeficients de fregament k i els que lliguen les velocitats locals amb la de la sortida.

b) De la mateixa manera, el treball esmerèat en vencer les resistències entre la porta del cendrer i el registre, será:

$$VK_2 \frac{v_e^2}{2g}$$

en la que V_e representa la velocitat amb que els gasos arriben al registre.

3a Treball necessari per vencer la resistència propia del registre. Aquest treball serà, designant per v la velocitat amb que els gasos atravessen el registre:

$$V\rho \frac{v^2}{2g}$$

4a Treball necessari per portar els gasos des de la pressió π_e en la cara posterior del registre, fins a la pressió atmosfèrica p_s a la sortida de la xemenèia. Aquest treball, valdrà:

$$V(\pi_e - p_s)$$

amb el sobreentés de que el volum dels gasos V no varï al variar la pressió de π_e a P_s és a dir, que la variació de pressió siga prou petita perquè la variació de volum resulti insignificant, en comparació al volum total V. Si aquesta variació de pressió fos gran, aleshores el problema deixaria d'ésser de Mecànica per entrar de plé en la Termodinàmica, i la fòrmula que obtindriem seria força més complicada.

5a Al igual de l'anterior, el treball necessari per portar els gasos des de la pressió atmosfèrica p_e en la porta del cendrer, fins a la pressió π'_e en la cara anterior del registre, serà:

$$V(p_e - \pi'_e)$$

6a El treball necessari per portar els gasos des de la pressió π'_e a la π_e al atravessar el registre:

$$V(\pi'_e \ \pi_e)$$

Es evident que la suma algebràica de tots aquests treballs, serà igual a la variació de força viva de la massa gaseosa, des de la porta del cendrer (velocitat nula) fins a la boca de la xemenèia (velocitat V_s). D'aquests treballs, uns són negatius, per oposarse a la marxa dels gasos (partides 1, 2, 3) i altres positius per ésser els que determinen el moviment (partides 4, 5, 6). Observem, a més, que les partides 3 i 6 són, en realitat, una sola partida, presentada en forma oposada, de manera que seran iguals i de signe contrari; per lo tant, de moment, deixarém de tenirles en compte. Tindrem, doncs:

$$\frac{1}{2}\frac{V\delta}{g}v_s^2 = -V\delta H - VK_1\frac{v_s^2}{2g} - VK_2\frac{v_e^2}{2g} + V(\pi_e - p_s) + V(p_e - \pi'_e) \qquad (1)$$

que podem posar en la forma següent:

$$\frac{v_s^2}{2g} + H + K\frac{v_s^2}{2g} + K^1\frac{v_e^2}{2g} + \frac{p_s - \pi_e}{\delta} = \frac{p_e - \pi'_e}{\delta} \qquad (2)$$

Cada un dels termes de la equació (1) representa una energía; cada un dels termes de la equació (2) representa una longitud. Les unitats adoptades són el kilo i el metre. Per lo tant, les pressions p_s, p_e, π_e, π'_e s'expressaran en kgs/m² i δ en kgs./m³. K i K' representen coeficents numèrics sense dimensions. H una longitud expressada en metres, al igual que $\frac{V_s^2}{2g}$ i $\frac{V_e^2}{2g}$.

Aquesta equació que, com es pot veure, no és altra cosa que expressió del teorema de Bernoulli aplicat al nostre cas, és absolutament general. Es l'expressió del teorema de les forces vives aplicat al corrent gaseós. Serà vàlida per qualsevol velocitat, àdhuc per la velocitat cero. En aquest cas, la equació (2) es converteix en la:

$$\frac{p_s - \pi_e}{\delta} + H = \frac{p_e - \pi'_e}{\delta} \qquad (3)$$

Si suposem interromput el corrent per un registre situat en la base de la xemenèia, aleshores $p_e = \pi'_e$ i tindrem:

$$\pi_e = p_s + H\delta \qquad (4)$$

La *depressió* en la base de la xemenèia, serà, designant per Δ la densitat del aire exterior

$$p_e - \pi_e = p_e - p_s - H\delta = H(\Delta - \delta) \qquad (5)$$

i, entre abdues cares del registre, hi haurà la diferència de pressions:

$$\pi'_e - \pi_e = H(\Delta - \delta) \qquad (6)$$

Si el registre el suposem situat en la boca de sortida de la xemenèia, aleshores $p_s = \pi_e$ i tindrem, al estil del cas anterior:

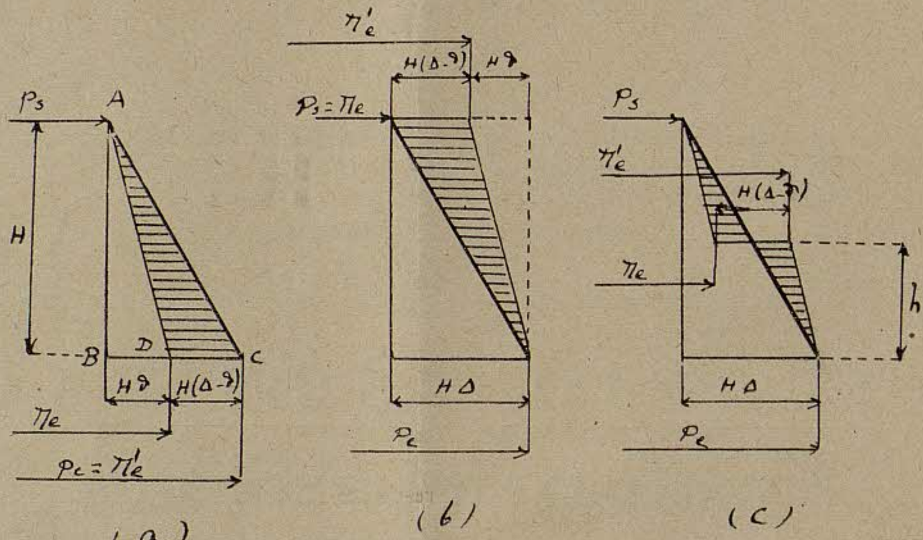

Fig. 1

$$\pi'_e = p_e - H\delta \qquad (7)$$

la sobrepressió, o *pressió* en la boca de la xemenèia, serà:

$$\pi'_e - p_s = H(\Delta - \delta) \qquad (8)$$

i, entre abdues cares del registre, hi haurà la diferència de pressions:

$$\pi'_e - \pi_e = H(\Delta - \delta) \qquad (9)$$

Si el registre el suposem situat en un punt intermitg de la xemenèia, a una alçada h sobre l'engraellat, tindrem, com a conseqüència de les equacions anteriors:

$$\left.\begin{aligned} \pi'_e &= p_e - h\delta \\ \pi_e &= p_s + (H - h)\delta \\ \pi'_e - \pi_e &= (\Delta - \delta)H \end{aligned}\right\} \qquad (10)$$

Representem gràficament, fig. 1, aquestes equacions. La recta AB representa, a una certa escala, l'alçada de la xemenèia. Les rectes horitzontals representen, a una escala determinada, les pressions absolutes. Les superfícies ratllades representen les diferències de pressió entre l'interior i l'exterior de la xemenèia, en cada punt de la mateixa. En la (a) aquesta diferència és negativa, la xemenènia està en *depressió*. En (b) és positiva, la xemenèia està en sobrepressió o *pressió*. En (c) és positiva abans del registre, i negativa passat el mateix.

* * *

Suposem ara alçt parcialment el registre. Tots els termes de la equació (2) tenen una valor diferent a zero. A més restituim en la mateixa els termes corresponents a les partides de treball (3) i (6), que abans haviem eliminar per ésser iguals i de signe contrari. Els termes en π_e i π'_e desapareixen; els termes en K, K' i ρ els reduirém a un sol, posant les velocitats totes en funció de V_s. Designant per R la suma $K + K' + \rho$, la equació (2) es converteix en:

$$\frac{v_s^2}{2gH}(1 + R) = \frac{\Delta - \delta}{\delta} \qquad (11)$$

posant les densitats en funció de les temperatures: θ del aire exterior i t dels gasos calents; i dèsignant per α el coeficient $1:273$, la equació (11) es converteix en la:

$$v_s = \sqrt{\frac{2gH\alpha(t - \Theta)}{(1 + \alpha\Theta)(1 + R)}} \qquad (12)$$

que és, precisament, la conegudíssima fórmula de Ser, deduïda per aquest autor seguint un camí força diferent del que acabem de seguir.

Péclet [1] comença per establir una fórmula que, en definitiva, ve a ésser la:

$$\frac{v_s^2}{2gH} = \frac{\Delta - \delta}{\Delta}$$

de la qual obté la seva fórmula:

$$v_s = \sqrt{\frac{2gH\alpha(t - \Theta)}{1 + \alpha t}}$$

però s'adona aviat que aquesta fórmula està en desacord, no tan sols amb els resultats de la experiència, sino també amb certes consideracions de caràcter teòric, i salva la dificultat fent entrar en joc la expansió dels gasos des de la pressió en que es troben a la fogaina fins a la pressió atmosfèrica p_s a la sortida de la xemenèia; soposant que aquesta expansió siga adiabàtica, Pélcet obté la mateixa fórmula de Ser.

Le Chatelier [1], seguint un camí original, arriba a una fórmula que ve a ésser també la mateixa de Ser, encara que expressada en una forma molt diferent.

* * *

De la equació (2) en deduim:

$$\delta\frac{v_s^2}{2g}(1 + K) + \delta\frac{v_e^2}{2g}(1 + K_1) + (\pi'_e - \pi_e) = H(\Delta - \delta) \qquad (13)$$

en la que cada terme representa una pressió.

Tal com ja havem dit avans, l'expressió $H(\Delta - \delta)$ representa el «tiratge total» o «tiratge estàtic» de la xemenèia, i mideix la depressió que tendriem en la base de la mateixa si el registre estigués completament tancat. Aquesta depressió total es compon de les tres parts indicades en la equació (13) en la qual, coneguda la quantitat de combustible cremada per hora, el règim de combustió i les característiques del aparell, ens serà sempre possible (al menys teòricament) calcular la valor dels dos primers termes; el tercer $\pi'_e - \pi_e$ representa lo que en podriem dir «reserva de tiratge». Si el règim de marxa, a base del qual hem calculat els dos primers termes, és el màxim possible, l'expressió $\pi'_e - \pi_e$ és nula, i el registre estarà completament obert. Si, al contrari, com es fa sempre, es desitja tenir alguna reserva per tal de fer front a possibles variacions de marxa, o a eventuals ampliacions, la valor $\pi'_e - \pi_e$ ha de tenir una certa importància que, en cada cas, el bon sentit del enginyer determinarà. Per medi d'aquesta equació ens serà possible conèixer les condicions de marxa d'una instalació existent, o be determinar les característiques d'una xemenèia que s'hagi de projectar per una instalació determinada.

La fig. 2 representa el diagrama de pressions a tot el llarg de la xemenèia, i no és altra cosa que l'ampliació del que abans em exposat en la fig. 1.

Establert un cert estat de règim, la pèrdua de càrrega en la sortida de la xemenèia serà $\delta\frac{v_s^2}{2g} = AM$. La pèrdua de càrrega en tot el llarg de la xemenèia serà $\delta K\frac{v_s^2}{2g}$ representada per el segment CD. En la base de la xemenèia, l'alçada representativa de la velocitat d'entrada, serà $DE = \delta\frac{v_o^2}{2g}$. El segment d'horitzontal comprés entre les rectes AD i ME representarà la valor $\delta\frac{v^2}{2g}$ corresponent a la velocitat

(1) Péclet — Traité de la Chaleur. (1878).

(1) Le Chatelier — Le Chauffage Industriel. (1920