NOTA SOBRE LA DETERMINACIO MES ECÓNOMICA D'UNA TUBERIA D'IMPULSIO

A l'amic Jaume Carner i Galofre

La present nota té per objecte l'obtenció d'una fórmula senzilla, per a la determinació de la secció més econòmica d'una tuberia d'impulsió, d'acord amb els preus actuals de les tuberies, del Kwh. i de les màquines elevatòries.

El transport, en la unitat de temps, d'un caudal determinat, podem fer-lo amb tuberies de diferents diàmetres. Si prenem un diàmetre petit, la velocitat del liquid serà, necessàriament, elevada i si, per una part, estalviem diners en la tuberia, l'energia consumida i la potència de la màquina elevatòria, i per tant el cost de la mateixa, seran més grans que si prenguéssim una tuberia més gran i una velocitat menor.

És fàcil de compendre que ha d'existir una combinació de diàmetre i velocitat més econòmica que totes les altres possibles.

Per arribar al resultat proposat, començarem per establir l'expressió general de la totalitat de les despeses anyals d'una estació elevatòria formada per un grup motor-bomba amb les corresponents tuberies.

Posem:

$$A = pN + p'Dl \quad (1)$$

En aquesta equació representem per

A import total de les despeses anyals d'una installació elevatòria.

p interès, amortització i conservació per HP del grup motor-bomba.

N nombre de HP del grup motor-bomba.

p' interès, amortització i conservació anyal de la tuberia per metre de diàmetre i metre de longitud.

D diàmetre de la tuberia en metres.

l llargada de la tuberia en metres.

La potència total N que ha de subministrar un motor, es pot descomposar en dues parts; una que és emprada en l'elevació del líquid a la altura H i l'altra en vèncer els fregaments del líquid en la tuberia. Aquesta segona part d'energia permetria elevar el caudal Q de la installació a una altura que designarem per h, la qual, correntment, es designa amb el nom d'*altura representativa dels fregaments*. A la suma $H+h$ se li acostuma a donar el nom d'*altura manomètrica total*.

La potència del grup serà, doncs:

$$N = \frac{1000\ Q\ (H+h)}{75\ \rho} \quad (2)$$

En aquesta equació el caudal Q ve donat en metres cúbics per segon i ρ representa el rendiment del grup motor-bomba.

Segons DARCY:

$$h = \frac{64\ b_1\ Q^2\ l}{D^5} \quad (3)$$

aquesta valor de h substituït en l'equació (2) dóna:

$$N = \frac{1000\ Q}{75\ \rho}\left(H + \frac{64\ b_1\ Q^2 l}{\pi\ D^5}\right)$$

el qual valor substituït en (1), dóna:

$$A = \frac{1000\ p\ Q}{75\ \rho}\left(H + \frac{64\ b_1\ Q^2\ l}{\pi^2\ D^5}\right) + p'\ Dl \quad (4)$$

El coeficient b_1 de DARCY és de la forma:

$$b_1 = \alpha + \frac{\beta}{D} \quad (5)$$

i substituït en (4) condueix a:

$$A = \frac{1000\, p\, Q}{75\, \rho}\left[H + \frac{Q^2 64\, l}{\pi}\left(\frac{\alpha}{D^5} + \frac{\beta}{D^6}\right)\right] + p'\, D\, l$$

Aquesta expressió dóna la valor de A en funció de la sola variable D. La valor de D que faci mínim la de A ve donada per la condició:

$$\frac{d\,A}{d\,D} = 0\,;$$

derivant i igualant a o tindrem:

$$\frac{64.000\, Q^3\, p}{5\,.\,\pi\,\rho}\left(-\frac{5\,\alpha}{D^6} - \frac{6\,\beta}{D^7}\right) p + ' = 0 \quad (6)$$

equació de setè grau que solament podem resoldre per aproximació.

Hem de fer remarcar que el resultat obtingut és independent de l'altura d'elevació i de la longitud de la tuberia, puix no apareixen en ella ni H ni l.

La fórmula de Darcy és bastant aproximada per a diàmetres inferiors a o'50 m que són els més corrents. Dintre d'aquests límits la valor del coeficient b_1 oscil·la entre 0,0007 i 0,0005. Nosaltres fixarem la seva valor fent-la constant i igual a 0,0006 .

Aquesta hipòtesi porta com a conseqüència el fer en (5)

$$\beta = 0 \quad \text{i} \quad \alpha = b_1 = 0.0006,$$

el què ens permet de simplificar l'expressió (6) i trobar fàcilment la valor de D cercada,

$$D = 0{'}8\ \sqrt[6]{\frac{p}{\rho\, p'}}\ \sqrt{Q} \quad (7)$$

En aquesta expressió sols resta fixar les valors de ρ, p i p'.

Les dades que posseïm referents als grups electro-bomba són de la casa Herrero-Zubiria de Bilbao i donen per a ρ una valor ρ = o'50 en els grups fins a 25 HP. (producte de multiplicar el rendiment del motor pel de la bomba).

El preu per HP. del grup electrobomba tipus corrent, varia amb la potència del grup:

per a 1 HP.	725	Ptes.
" " 2 HP.	500	"
" " 3 HP.	430	"

El promig de 1 a 3 HP. és de 530 pessetes en xifres rodones

per a 5 HP.	260	Ptes.
" " 7'5 HP.	300	"
" " 10 HP.	258	"
" " 15 HP.	193	"
" " 20 HP.	192	"
" " 25 HP.	170	"

El promig és de 230 Ptes. per HP. en xifres rodones.

Si prenem el 15 % per interès, amortització i reparacions tindrem:

Grups motor-bombes:

De 1 a 3 HP. 80 Ptes. anyals per HP.
" 3 " 25 HP. 35 " " " "

i si suposem que el funcionament del grup és de 3000 hores en un any, i si el preu mig del HP. hora és de o'30 Ptes. (tenint en compte els impostos i altres càrregues), el consum de fluït en un any serà: de 900 Ptes. per HP., i les despeses totals ascendiran a 980 Ptes. en el primer cas, i a 935 en el segon. Nosaltres pendrem un promig de 960 Ptes. com a valor de p.

Les valors de les tuberies corrents de ferro forjat són avui:

Diàmetres	Ptes. per m de diàm. i metre de long.
1"	190
1 1/2"	199
2"	210
2 1/2"	255
3"	250
3 1/2"	266
4"	266
5"	296
6"	300

El promig, en xifres rodones, és de 240

Ptes.; si prenem un 12 % per a interès i amortització p' valdrà 28'80 Ptes., i l'expressió

$$\sqrt[6]{\frac{p}{\varrho\, p'}} = 2'0 \quad (8)$$

en xifres rodones, i la valor D serà, finalment:

$$D = 1'60 \sqrt{Q} \quad (9)$$

Hem de fer remarcar que variacions de les quantitats p i p', com, per exemple, si la relació $\frac{p}{p'}$ esdevingués 3 vegades més gran o més petita, influïrien en el coeficient en un 20 %. Això justifica el poc rigor que segurament podria trobar-se en l'establiment de la fórmula.

La causa principal d'alteració del coeficient fóra una diferència molt notable en el fluid consumit per HP. any, deguda, principalment, a una important reducció en el nombre d'hores de treball.

L'expressió de la velocitat més econòmica es desprèn fàcilment de la formula (9):

$$\text{de } v = \frac{Q}{\frac{D}{4}}$$

$$v = \frac{4}{1'6\ \pi} = 0'5$$

en xifres rodones, valor molt fàcil de retenir.

Els caudals que, d'acord amb la present nota, convé fer passar per les tuberies seran donats per la fórmula:

$$Q = 1000 \left(\frac{D}{1 \cdot 6}\right)^6 \text{ litres / segon}$$

Diàmetres	Caudals en litres per segon
1"	0'25
2"	1'00
3"	2'25
4"	4
5"	6'5
6"	[illegible]
7"	12
8"	[illegible]
9"	20
10"	25
11"	30
12"	35

Fàcilment podrà continuar-se la taula. No ho fem per no donar massa llargada a aquest treball desproveït de tot mèrit.

És una regla corrent pendre uns dos metres com a velocitat dels líquids en les tuberies. Això implicaria que el coeficient 1'60 es convertis en 0'80 i la relació $\frac{p}{p'}$ fos $2^6=64$ vegades més petita del què hem suposat. Creiem que els nostres lectors no poden acceptar-ho, i en veure en la pràctica les velocitats exagerades per tal d'estalviar unes pessetes de tuberia, pensaran en les que de quilovats hora deu costar contínuament i en què hi ha estalvis que rompen les estovalles.

Eng. JOAN DE LASARTE KARR

Barcelona, abril 1926.