

616 - 106

## **consideraciones prácticas en el bombeo de pastas crudas para fabricación de cemento**

STEWART S. FRITTS

(«Pit and Quarry», 54, núm. 1, julio 1961, pág. 155.)

El flujo característico de las pastas crudas para cemento puede considerarse análogo al de un líquido incompresible, dado por la expresión:

$$Q = A \cdot V \quad [1]$$

donde:

Q=cantidad de líquido (pulpa pasta),

A=área de la sección transversal del conducto o tubería que transporta el líquido.

V=velocidad de flujo.

El empleo práctico de esta expresión al bombear pasta, así como para bombear agua, viene dado por:

$$\text{GPM} = 2,45 V d^2 \quad [2]$$

donde:

GPM=galones por minuto, a 7,48 gal. por pie cúbico.

V=velocidad de flujo (pies/segundo).

d=diámetro interno de la tubería (pulgadas).

### **Características de la pasta**

El transporte de la pasta cruda para fabricación de cemento, incluye no sólo el movimiento de líquido (agua), sino también el movimiento de sólidos en suspensión en el medio líquido.

En la tabla I se ven las características fundamentales de mezclas agua-sólido, indicando los galones, por minuto, necesarios para mover 1.000 barriles de sólidos equivalentes secos por hora. Al final del cuadro se muestran las ecuaciones para determinar la densidad de la pasta basándose en el peso específico de los sólidos a bombear, así como la fórmula para un flujo estacionario.

33

**T A B L A I**

**Galones de pasta (pulpa) requeridos por minuto para mover 1.000 barriles de peso sólido equivalente por hora.**

Bases: 600 libras de sólidos secos por barril de clínker.

Peso específico de sólidos ( $d_s$ ) = 2,70.

% agua %	% sólidos 1-%	Dilución Agua/sólidos	DENSIDAD DE LA PULPA		Flujo de pulpa GPM
			Peso esp.- $d_s$	Libras/pie <sup>3</sup>	
10	90	0,111:1	2,308	144,3	580
15	85	0,176:1	2,151	134,4	655
20	80	0,250:1	2,015	125,9	745
25	75	0,333:1	1,895	118,4	845
30	70	0,429:1	1,788	111,8	960
35	65	0,538:1	1,693	105,8	1090
40	60	0,667:1	1,607	100,4	1245
45	55	0,818:1	1,530	95,6	1425
50	50	1,000:1	1,459	91,2	1645
55	45	1,222:1	1,395	87,2	1910
60	40	1,500:1	1,335	83,4	2245
65	35	1,857:1	1,283	80,2	2675
70	30	2,333:1	1,233	77,1	3245
75	25	3,000:1	1,187	74,2	4045
80	20	4,000:1	1,144	71,5	5245
85	15	5,666:1	1,104	69,0	7245
90	10	9,000:1	1,067	66,7	11245

donde:

$$p_s = \frac{d_s}{(100 - \%) + (\% \times d_s)} \quad [3]$$

$$\text{GPM} = \frac{1.000 \times 600 \times 7,5}{60 \times 62,5 \times (100 - \%) \times p_s} = \frac{1.200}{(100 - \%) \times p_s} \quad [4]$$

NOTA.—Para valores de GPM en que el factor para el crudo es distinto de 600 libras por barril, multiplicar GPM  $\times$  libras por barril/600.

La tabla está establecida sobre un peso específico de sólidos secos de 2,70. Una derivación de 0,10, en más o en menos de este valor (2,60 a 2,70), no cambia la densidad de la pasta o su flujo en más de 1,7 a 1,0 % en la región de 30 a 50 % de las mezclas agua/sólido. Este intervalo de pesos específicos y de porcentaje de agua va bien en la mayoría de los problemas encontrados en las pastas para fabricación de cemento, con la excepción de las arcillas; y con pastas de elevado contenido de agua, como ocurre al manejar arcillas, las desviaciones son inferiores a 0,5 %.

### **Diámetros prácticos en tuberías**

La determinación de  $d$  (diámetro del tubo) debe hacerse considerando el comportamiento óptimo, que depende de un factor de fricción razonable compatible con una selección económica de materiales útiles.

Todos los medios líquidos están sometidos al fenómeno conocido por viscosidad. Para las pastas encontradas en la fabricación de cemento, el flujo no es sólo viscoso, sino que puede ser plástico. Pueden emplearse, no obstante, las ecuaciones fundamentales de flujo, supuesto que se presta la debida atención al flujo característico.

Ross W. Smith ha presentado un camino racional para la determinación del factor de fricción —aplicable a las pastas de fábricas de cemento—, que puede expresarse como:

$$H_f = \frac{0,8}{p_s} \left( \frac{S_y}{d} + \frac{1,2 v_p \text{ GPM}}{d^4} \right) \quad [5]$$

donde:

$H_f$  = Pérdida por fricción (pie/pie de tubería).  
 $p_s$  = Peso específico de la pasta (pulpa).  
 $S_y$  = Tensión de deformación (libras/pie<sup>2</sup>).  
 $v_p$  = Viscosidad plástica (libras/pie × segundo).  
 GPM = Galones por minuto (flujo).  
 $d$  = Diámetro interno de la tubería (pulgadas).

La experiencia demuestra que:

$S_y$ oscila de 0,20 a 1,50 avg.	0,630
y $v_p$ oscila de 0,008 a 0,045 avg.	0,020

Estos valores dependen también del peso específico o dilución de la pulpa. Por lo tanto, cuanto más alto es el peso específico y más baja la dilución, mayores serán la tensión de deformación ( $S_y$ ) y la viscosidad plástica ( $v_p$ ).

Normalmente, la expresión  $1,2v_p \text{ GPM}/d^4$  representa del 5 al 10 % de la pérdida de fricción total. Por tanto, las pérdidas debidas a fricción pueden expresarse prácticamente con la siguiente base:

$$H_f = \frac{0,9 S_y}{p_s d} \quad [6]$$

En las condiciones normales de trabajo se procura bombear pastas con el más bajo contenido de humedad posible, lo cual significa que el valor de  $S_y$  estará en un máximo. Por lo tanto, en ausencia de datos experimentales, la expresión puede representarse grosso modo:

$$H_f = \frac{1}{2 d} \quad [7]$$

Con la anterior expresión [7] para el factor de fricción el valor de la primera aproximación de  $d$  o tamaño de tubo puede determinarse como:

$$d = \sqrt[6]{\frac{\text{GPM}^2(L + 200)}{20 H_s}} \quad [8]$$

donde:

$d$  = Diámetro del tubo (pulgadas).  
 GPM = Galones por minuto (flujo).  
 L = Longitud total de la tubería (pies).  
 $H_s$  = Presión estática neta (pies).  
 200 = Longitud equivalente admisible para varias válvulas y uniones (pies).  
 20 = Flujo constante que se ha valorado sobre la base de flujo óptimo con el factor de fricción por la ecuación [7].

Después de que se ha hecho la primera aproximación, es importante establecer la selección final del tubo sobre una base más bien liberal. Por ejemplo, si el valor de  $d$  es calculado en 6,5 pulgadas, el diámetro de la tubería elegida será 8 pulgadas, tamaño standard mayor más próximo. En tanto que el coste inicial del tubo de 8 pulgadas, más su coste de instalación, sería mayor que el del tubo de 6 pulgadas, la economía real se obtendría en una pérdida por fricción más baja y, por tanto, una presión equivalente total menor, que, naturalmente, resultaría en un consumo menor de energía.

La tabla II, basada en la ecuación [8], se ha preparado para disponer de una referencia inmediata al seleccionar el tipo óptimo de tubería.

**T A B L A I I**

Selección del tamaño de tubo según la ecuación [8].

Suponemos  $H_s = 50$  pies.

GPM	LONGITUD DE TUBERIA=L EN PIES										GPM
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1.000	
50	3"	3"	3"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	50
100	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	100
200	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	200
300	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	300
400	6	6	6	6	6	8	8	8	8	8	400
500	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	500
600	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	600
700	8	8	8	8	8	8	10	10	10	10	700
800	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	800
900	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	900
1.000	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	1.000
1.200	10	10	10	10	10	12	12	12	12	12	1.200
1.400	10	10	10	10	10	12	12	12	12	12	1.400
1.600	10	10	12	12	12	12	12	12	12	12	1.600
1.800	10	10	12	12	12	14	14	14	14	14	1.800
2.000	12	12	12	12	12	14	14	14	14	14	2.000
2.500	12	12	12	14	14	14	14	14	14	14	2.500
3.000	12	12	14	14	14	14	14	14	14	14	3.000
3.500	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	3.500
4.000	14	14	16	16	16	16	16	16	16	16	4.000
4.500	14	14	16	16	16	16	16	16	18	18	4.500
5.000	14	16	16	16	16	18	18	18	18	18	5.000

**Consumo de energía**

La energía necesaria para mover la pasta a través de una bomba y tubería, viene dada por la siguiente expresión.

$$HP = \frac{GPM H_t P_s}{3.960 E_p E_m} \tag{9}$$

donde:

- HP = HP totales requeridos para bombear la pasta.
- GPM = Galones por minuto (flujo).
- $H_t$  = Presión total (pies o presión estática neta más pérdida por fricción).
- $P_s$  = Peso específico de la pasta (pulpa).
- $E_p$  = Eficiencia mecánica de la bomba.
- $E_m$  = Eficiencia mecánica y eléctrica del motor y arrastre de poleas trapezoidales.

En la práctica, con una eficiencia de la bomba normal (60 %) y un motor y arrastre con 85 % de eficiencia, el valor de  $H_p$  puede expresarse como:

$$H_p = \frac{GPM H_t P_s}{2.000} \tag{10}$$

**Selección de bomba**

Se discutirá con el fabricante de bombas y sus recomendaciones se tendrán siempre en cuenta en la práctica.

**bibliografía**

- (1) SMITH, Ross W.: "Flow of Limestone and Clay Slurries in Pipe Lines". A. I. M. E. Trans., vol. 217, pág. 258, 1960.
- (2) HAMM, Hans W.: "Determination of Economic Pipe Line Diameters, in Plant Maintenance and Engineering", página 31, noviembre 1960.