

Transporte neumático de harina

ALBERTO DUARTE TORRES

Ingeniero Químico. MSc. Profesor Asociado.

Departamento de Ingeniería Química.

Universidad Nacional de Colombia.

PEDRO FERNANDEZ VELANDIA

Ingeniero Químico. Universidad Nacional de Colombia.

ORLANDO PEÑUELA BELTRÁN

Ingeniero Químico. Universidad Nacional de Colombia.

INTRODUCCIÓN

En el presente artículo se analiza la información obtenida en las líneas de transporte neumático de una empresa productora de harina de maíz y sus derivados con el propósito de obtener criterios para el cambio de escala, diseño, y control de sistemas similares.

DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE NEUMÁTICO

El transporte neumático es un sistema indicado para la manipulación en condiciones asépticas de materiales livianos y voluminosos tales como granos, harinas, leche en polvo; de materiales lesivos como sosa en polvo y de materiales pulverizados con componentes venenosos como plomo o arsénico. Su desventaja, con respecto a otros sistemas de transporte, es el requerimiento de un mayor consumo de potencia por unidad de masa transportada.

Usualmente en los sistemas bajo vacío (Figura 1) la velocidad del aire varía, según las condiciones de operación y los accesorios utilizados, entre 20 y 40 m/s, y el grado de vacío puede alcanzar 40 kilopascales (5,8 psi). En condiciones especiales, pueden transportarse materiales con tamaño de partícula hasta 5 cm, y distancias hasta 400 m.

Los sistemas de baja presión, entre 3,5 y 35 kPa (0,5 - 5 psi), y velocidad del aire del orden de 20 m/s

transportan polvos secos, granos partidos y materiales fibrosos.

Los sistemas de presión media, entre 25 y 60 kPa, (4 - 9 psi), y los de presión alta, entre 47 y 100 kPa (7 - 15 psi), son utilizados en el transporte de carbón en polvo, cemento, caliza pulverizada, roca fosfórica en polvo y otros materiales de estructura similar.

ANÁLISIS DE LAS LÍNEAS DE TRANSPORTE NEUMÁTICO DE UNA EMPRESA PROCESADORA DE MAÍZ Y SUS DERIVADOS.

1 DATOS EXPERIMENTALES

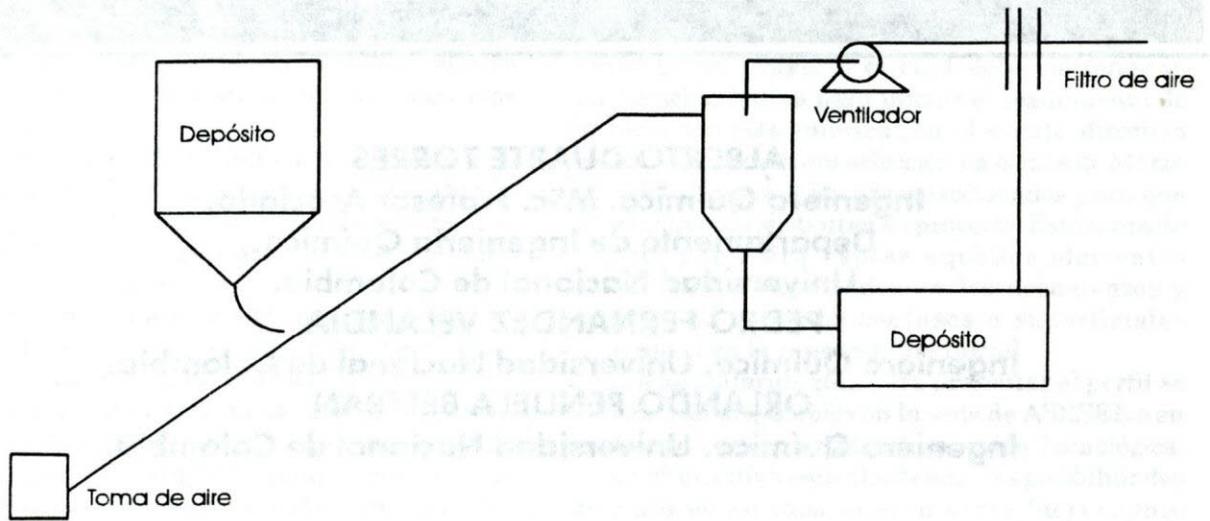
En las Tablas 1, 2 y 3, se presenta información obtenida por Fernandez y Peñuela (4), en las líneas de transporte neumático de una empresa procesadora de maíz y sus derivados, (Presión local: 540 mm Hg).

2. OBSERVACIONES SOBRE LAS TABLAS 1, 2 Y 3

- La línea 1, Tabla 1, transporta harina desde los molinos hasta el ciclón separador de los sólidos, funciona con aire a presión y dispone de esclusa rotatoria con sello de aire, compresor, superciclón, y cuatro codos de 90°, de radio largo.

- La línea 6, Tabla 1, transporta semolina desde los molinos hasta los cernedores automáticos, funciona

Unidad de presión negativa



Unidad de presión positiva

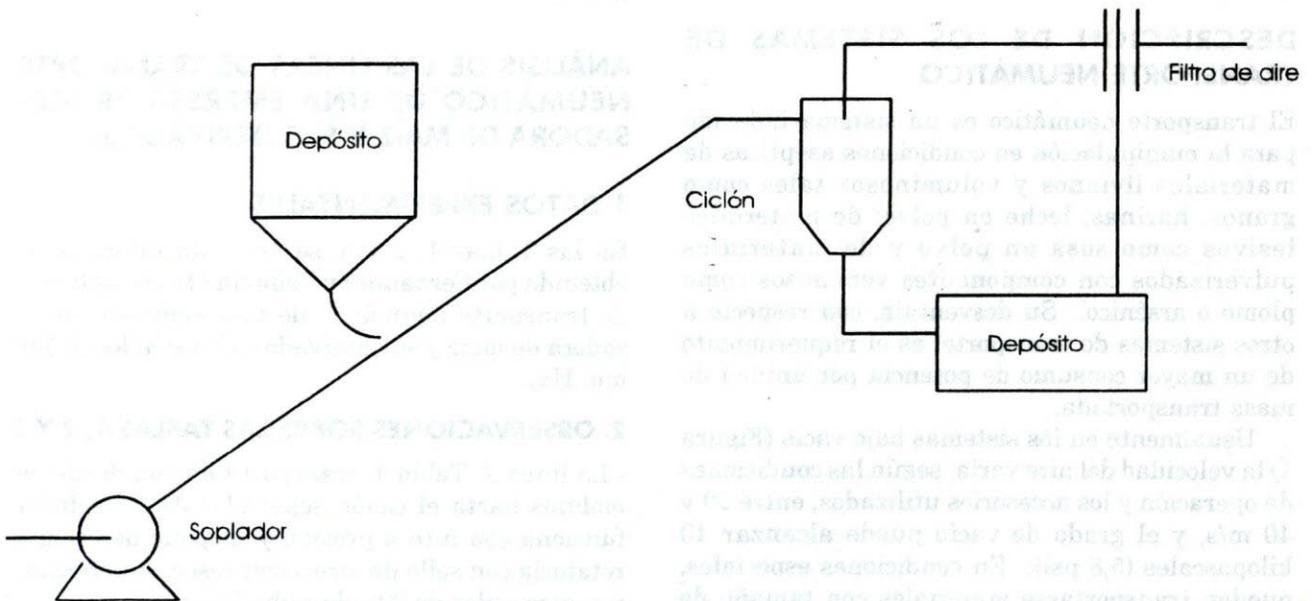


Figura 1. Representación esquemática de los sistemas de transporte neumático (3).

Tabla 1.
Información sobre las líneas de transporte neumático de una empresa procesadora de maíz y sus derivados. Fernandez y Peñuela (4).

Línea *	VAIRE m/s	DT cm	Dp mm	LEQ m	TAIRE °K
1 +	23	5,6	0,4	29	308
2 +	21	6,5	0,4	25	305
3 +	20	6,5	0,2	29	307
4 +	22	7,2	4,0	29	310
5 +	27	8,0	4,0	43	305
6 -	35	11,0	0,3	28	303
7 -	36	11,0	0,4	28	303

+: Línea a presión

-: Línea a vacío

VAIRE: Velocidad promedio del aire

DT: Diámetro de la tubería

DP: Diámetro promedio de partícula

LEQ: Longitud equivalente

TAIRE: Temperatura media del aire

con aire bajo vacío, y dispone de ventilador, superciclón, tres codos de 90° de radio largo, y esclusa rotatoria en la zona inferior de descarga del ciclón.

- Los datos de la columna 1, Tablas 2 y 3, fueron obtenidos directamente de la correspondiente línea con ayuda de una balanza y un cronómetro.

- Los datos de velocidad promedio del aire, columna 2, Tablas 1, 2 y 3, fueron obtenidos con un tubo de

Pitot calibrado mediante el balance de energía de una corriente de aire en contacto con tres resistencias eléctricas.

- Las relaciones encontradas por Fernandez y Peñuela (4) entre la velocidad promedio y la máxima velocidad en una línea fueron:

$$u = 0,97 u_{MAX} \quad 14 < u > 20 \text{ m/s}$$

$$u = 0,95 u_{MAX} \quad 20 < u > 25 \text{ m/s}$$

$$u = 0,93 u_{MAX} \quad 25 < u > 40 \text{ m/s}$$

Tabla 2.
Información sobre una línea de transporte neumático a presión, línea 1 (Tabla 1), de una empresa procesadora de maíz. Fernandez y Peñuela (4).

Harina kg/s	Velocidad del aire, m/s	Presión de trabajo P ₁ , N/m ²	P ₂ N/m ²	(P ₂ -P ₁) N/m ²
0	23,44	1870	56	1814
0,03	23,31	2130	68	2062
0,04	23,13	2400	72	2328
0,06	23,00	2670	80	2590
0,08	22,79	3200	88	3112
0,10	22,62	3600	96	3504
0,14	22,30	4530	112	4418
0,36	21,07	7470	201	7269
0,48	19,91	11200	249	10951
0,52	19,76	11460	265	11195
0,54	19,61	11730	273	11457
0,57	19,42	12000	285	11715
0,62	19,12	12930	305	12625
0,64	18,71	14400	313	14087

Tabla 3.
Información sobre una línea de transporte neumático bajo vacío, línea 6 (Tabla 1), de una empresa procesadora de maíz y sus derivados. Fernandez y Peñuela (4).

Harina kg/s	Velocidad del aire, m/s	Presión de trabajo P ₁ , N/m ²	P ₂ N/m ²	(P ₂ -P ₁) N/m ²
0	35,10	- 1870	- 600	1270
0,05	35,00	- 2000	- 607	1393
0,06	35,00	- 2130	- 710	1420
0,10	35,07	- 2400	- 870	1530
0,13	35,08	- 2530	- 917	1613
0,27	34,89	- 2800	- 798	2002
0,28	34,94	- 2930	- 900	2030
0,30	35,02	- 3200	- 1113	2087
0,55	34,65	- 3730	- 923	2807
0,63	34,66	- 4130	- 1088	3042
0,85	34,59	- 5060	- 1356	3704

- Los datos de la presión de trabajo, P₁, columna 3, Tablas 2 y 3, en el caso de P₁ > 10 kPa, (1,02 m de agua, o 1,45 psi), corresponden a las lecturas de un manómetro de agua, y en el caso de P₁ < 10 kPa, (75 mm Hg), a lecturas de un manómetro de mercurio.

- Los datos de la presión de trabajo, P₁, columna 3 de la Tabla 2, sistema a presión, corresponden a lecturas tomadas 0,4 m después del punto de alimentación. Los datos de la presión de trabajo, P₁, columna 3 de la Tabla 3, sistema a vacío, corresponden a lecturas tomadas antes del ciclón separador de los sólidos.

- Los datos de la presión, P₂, columna 4 de la Tabla 2, sistema a presión, corresponden a lecturas tomadas antes del ciclón separador de los sólidos. Los datos de la presión, P₂, columna 4 de la Tabla 3, sistema a vacío, corresponden a lecturas tomadas 0,4 m después del punto de alimentación.

- Los datos anotados en la columna 5, Tablas 2 y 3, corresponden a la pérdida de presión en cada línea: - (P₂ - P₁).

3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.

- La información suministrada en las Tablas 2 y 3 se analiza en las Tablas 4, 5, y 8, y en las Figuras 2, 3 y 4.

- Los datos anotados en la columna 2, Tablas 4 y 5, corresponden a la pérdida de presión en cada línea,

dividida por su longitud equivalente. Longitud equivalente del sistema a presión: 29 m. Longitud equivalente del sistema a vacío: 28 m.

- Los datos anotados en la columna 3, Tablas 4 y 5, corresponden a la velocidad de flujo de masa de sólidos, G_s, kg.m⁻².s⁻¹, obtenida al dividir los valores anotados en la columna 1, Tablas 4 y 5, por la sección transversal del ducto (S = p.[D_T]²/4). D_T = 0,056 m (línea a presión). D_T = 0,11 m (línea a vacío).

$$G_A = \delta_A \cdot u$$

$$\delta_A = \frac{P \cdot M}{R \cdot T}$$

- La velocidad de flujo de masa de aire, G_A, columna 4 de las Tablas 4 y 5, se calcula a partir de las ecuaciones:

Donde, u: velocidad media del aire, datos de la columna 2, Tablas 2 y 3; δ_A: densidad del aire. La densidad del aire se calcula mediante la ecuación de estado para cada valor de la presión de trabajo P₁, datos de la columna 3, Tablas 2 y 3.

- Muestra del cálculo de G_A, línea 1, a presión, para u = 22,62 m/s, y P₁ = 3600 Pa, (Datos de las columnas 2 y 3, Tabla 2). Presión barométrica: 540 mm Hg. Temperatura 35 °C:

Tabla 4.
Análisis de una línea de transporte neumático a presión, línea 1 (Tabla 2),
de una empresa procesadora de maíz y sus derivados.

Harina	$(P_2-P_1)/L$	Flujo de sólidos, GS	Flujo de aire, GA	GS/GA
kg/s	$(N/m^2)/m$	kg/(m ² .s)	kg/(m ² .s)	
0	62,55	0	19,61	0
0,03	71,10	12,18	19,57	0,622
0,04	80,28	16,24	19,49	0,833
0,06	89,31	24,36	19,45	1,252
0,08	107,31	32,48	19,41	1,673
0,10	120,83	40,60	19,37	2,096
0,14	152,34	56,84	19,33	2,940
0,36	250,66	146,16	18,96	7,709
0,48	377,62	194,88	18,76	10,338
0,52	386,03	211,12	18,68	11,306
0,54	395,07	219,24	18,59	11,793
0,57	403,97	231,42	18,47	12,529
0,62	435,34	251,72	18,39	13,688
0,64	485,76	259,84	18,31	14,191

Tabla 5.
Análisis de una línea de transporte neumático bajo vacío, línea 6 (Tabla 3),
de una empresa procesadora de maíz y sus derivados.

Harina	$(P_2-P_1)/L$	Flujo de sólidos, GS	Flujo de aire, GA	GS/GA
kg/s	$(N/m^2)/m$	kg/(m ² .s)	kg/(m ² .s)	
0	45,36	0	28,337	0
0,05	49,75	5,261	28,201	0,186
0,06	50,71	6,313	28,148	0,224
0,10	54,64	10,523	28,095	0,374
0,13	57,61	13,679	28,053	0,488
0,27	71,50	28,411	27,790	1,022
0,28	72,50	29,463	27,780	1,060
0,30	74,54	31,568	27,738	1,138
0,55	100,25	57,874	27,232	2,125
0,63	108,64	66,293	27,074	2,448
0,85	132,29	89,442	26,654	3,356

$$\delta_A = \frac{\left(\frac{540}{760} \cdot (101,325) + 3,6\right) \text{ kPa} \cdot 29 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}}{8,314 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}} (273 + 35) \text{ K}} = 0,856 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

$$G_A = (0,856) \cdot (22,62) = 19,365 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

- Con el objeto de confrontar los resultados experimentales obtenidos en este trabajo con la información disponible en la literatura se presentan, en la Tabla 6, los datos de la velocidad del aire en los sistemas de transporte neumático a presión obtenidos por Gerchow (2). Con el mismo propósito en la Tabla 7 se presentan datos sobre la capa-

cidad de los sistemas de transporte neumático obtenidos por Fischer (1), y Gerchow (2).

- En la Tabla 8 se presenta un resumen de los resultados obtenidos, mediante un análisis similar al de las Tablas 4 y 5, en las líneas de transporte neumático especificadas en las Tablas 1 y 7.

Flujo de masa de sólidos, Gs: kg.m⁻².s⁻¹

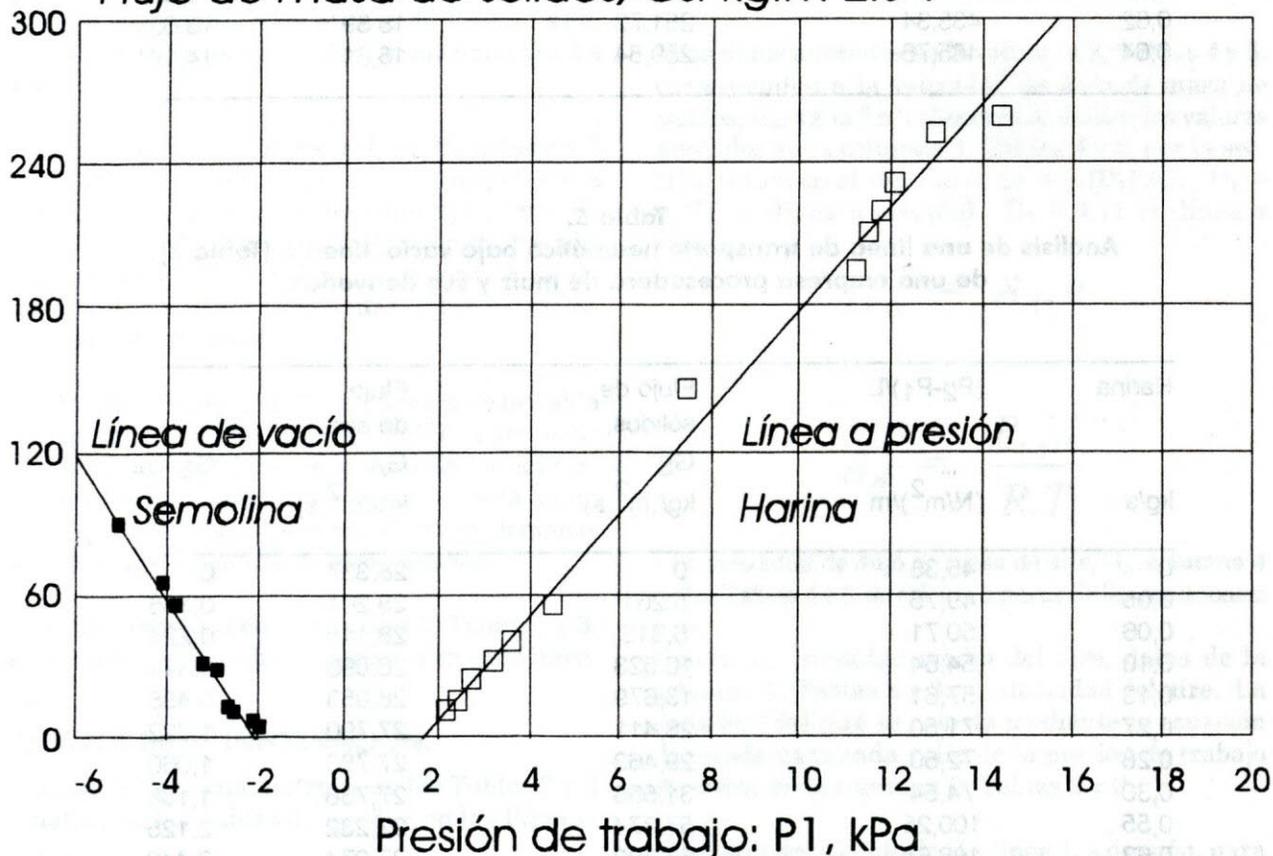


FIGURA 2.

Representación gráfica de la relación entre la carga de sólidos y la presión de trabajo, en dos líneas de transporte neumático (4).

Tabla 6.
Velocidad del aire en los sistemas de transporte neumático a presión. Gerchow (2).

Distancia a transportar m	Velocidad promedio del aire m/s		
	Densidad aparente, kg/m^3		
	$d_{AP} < 880$	$880 < d_{AP} < 1360$	$1360 < d_{AP} < 1850$
61	20,4	25,4	30,5
153	25,4	30,5	35,6
305	30,5	35,6	40,7

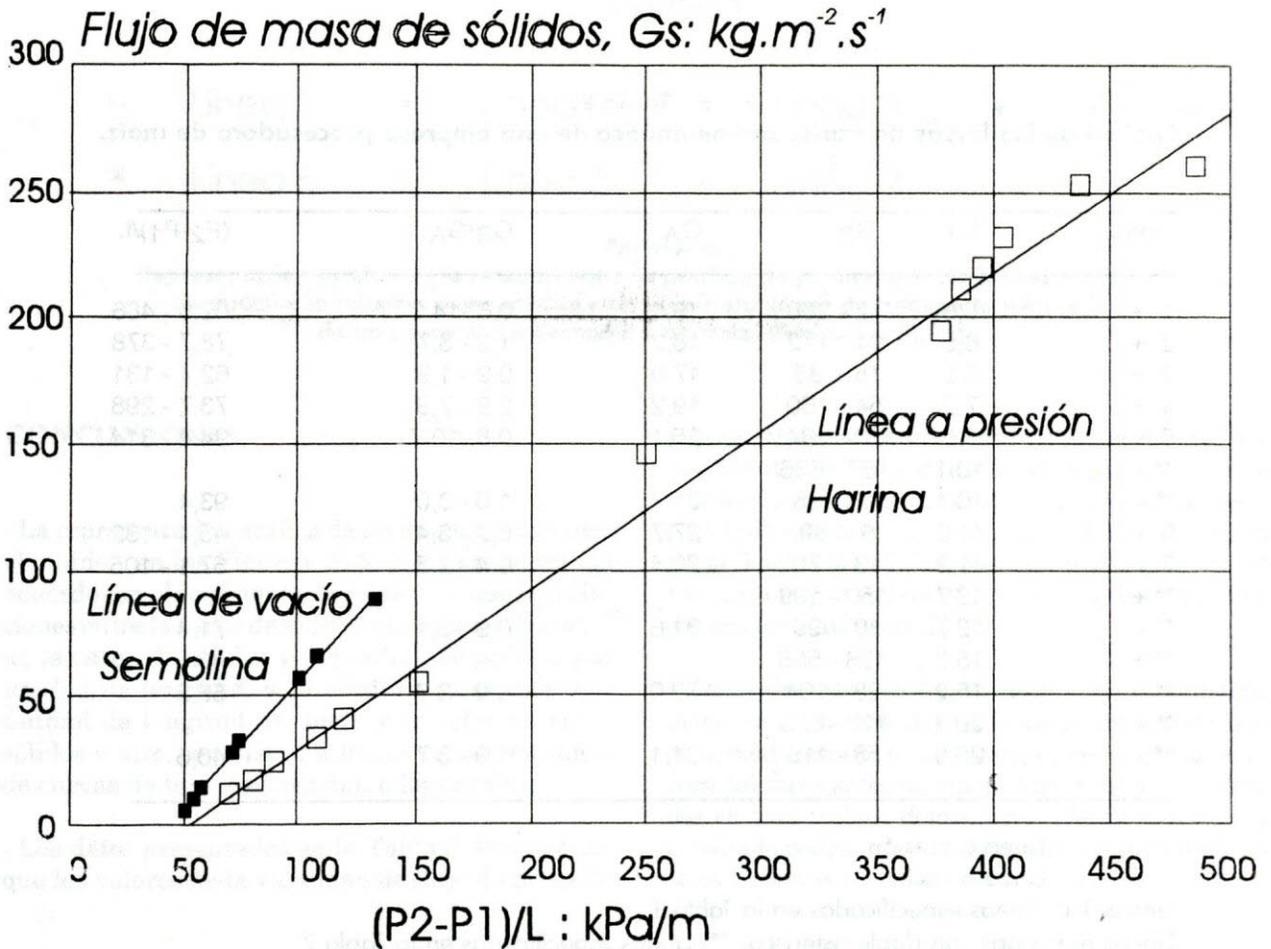


FIGURA 3.
 Representación gráfica de la relación entre la carga de sólidos y la pérdida de presión por unidad de longitud, en dos líneas de transporte neumático, Tablas 4 y 5, (4).

Tabla 7.
Capacidad de los sistemas de transporte neumático, Fischer (1), y Gerchow (2).

Diámetro del ducto	Capacidad usual		Caudal de aire	Pérdida de presión
cm	Sistema a presión kg/s	Sistema a vacío kg/s	(15,5 °C, 1 atmósfera) m ³ /s	(P ₂ -P ₁)/L (N/m ²)/m
10,1	1,5 - 5,1	0,25 - 0,76	0,207	93,40
12,7	1,9 - 7,6	0,38 - 1,26	0,327	71,40
15,2	2,5 - 10,1	0,50 - 1,89	0,472	56,80
20,3	3,8 - 20,3	1,89 - 3,77	0,822	40,60

Tabla 8.
Análisis de las líneas de transporte neumático de una empresa procesadora de maíz.

Línea	D _T	G _S	G _A	G _S /G _A	(P ₂ -P ₁)/L
1 +	5,6	12 - 260	19,0	0,6 - 14,2	62,5 - 486
2 +	6,5	21 - 172	18,2	1,2 - 8,7	78,7 - 378
3 +	6,5	15 - 33	17,0	0,9 - 1,9	62,4 - 131
4 +	7,2	54 - 160	19,2	2,9 - 7,9	73,7 - 298
5 +	8,0	20 - 284	25,1	0,8 - 10,7	94,4 - 314
** +	10,1	187 - 636			
** -	10,1	31 - 95	31,7	1,0 - 3,0	93,4
6 -	11,0	5 - 89	27,7	0,2 - 3,4	45,4 - 132
7 -	11,0	13 - 70	28,4	0,4 - 2,5	57,1 - 105
** +	12,7	150 - 599			
** -	12,7	30 - 99	31,6	0,9 - 3,1	71,4
** +	15,2	138 - 558			
** -	15,2	28 - 104	32,0	0,9 - 3,3	56,8
** +	20,3	117 - 626			
** -	20,3	58 - 116	31,1	1,9 - 3,7	40,6

+ : Línea a presión

- : Línea a vacío

Líneas 1-6: líneas especificadas en la Tabla 1

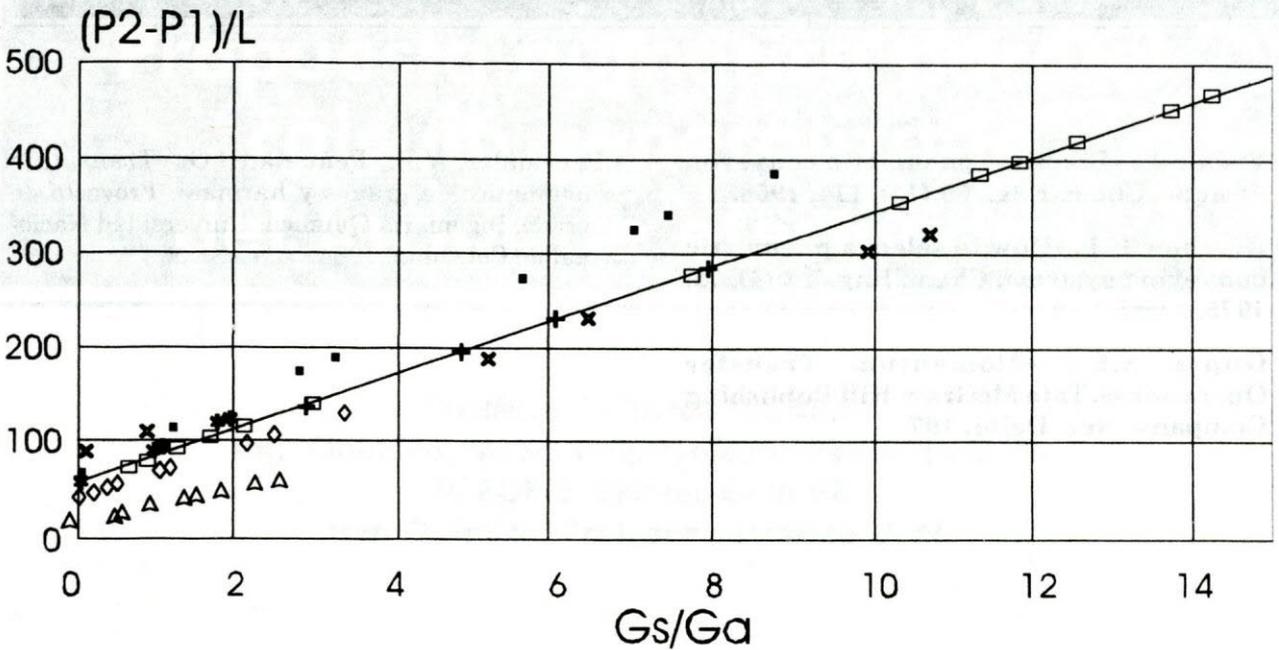
Líneas marcadas con doble asterisco: **: Líneas especificadas en la Tabla 7

D_T: diámetro del ducto, cm

G_S: velocidad de flujo de masa de sólidos, kg.m⁻².s⁻¹;

G_A: velocidad de flujo de masa de aire, kg.m⁻².s⁻¹;

(P₂ - P₁)/L: pérdida de presión por unidad de longitud de ducto, N.m⁻².m⁻¹ = Pa/m.



- | | | | | | | | |
|---|---------|---|---------|---|---------|---|---------|
| □ | Línea 1 | ▪ | Línea 2 | * | Línea 3 | + | Línea 4 |
| × | Línea 5 | ◇ | Línea 6 | △ | Línea 7 | | |

FIGURA 4.

Representación gráfica de la relación entre la pérdida de presión por unidad de longitud de ducto, y la relación entre sólidos y aire, en siete líneas de transporte neumático de una empresa procesadora de maíz, (Tablas 4 y 5), (4).

CONCLUSIONES

- La representación gráfica de los datos y resultados obtenidos, en las Figuras, 2, 3, y 4, demuestra, de acuerdo con el coeficiente de regresión, que las relaciones entre la carga de sólidos y la presión de trabajo, la carga de sólidos y la pérdida de presión por unidad de longitud, y la pérdida de presión por unidad de longitud de ducto y la relación entre sólidos y aire, se ajustan a líneas rectas, en lugar de curvas de tipo exponencial, o logarítmico.

- Los datos presentados en la Tabla 8 demuestran que los valores de la velocidad de flujo de masa de

sólidos, la velocidad de flujo de masa de aire y la pérdida de presión por unidad de longitud de ducto, calculados para las diferentes líneas analizadas en este trabajo, coinciden con los valores resumidos en la Tablas 6 y 7, los cuales constituyen, según Fischer (1) y Gerchow (2), un buen resumen de la experiencia industrial.

- Generalmente, los fundamentos del dimensionamiento de un sistema de transporte neumático son completamente empíricos e incluyen factores disponibles sólo para los fabricantes de equipo. Los resultados obtenidos en este trabajo demuestran que la metodología empleada podría ser útil al ingeniero confrontado con otros sistemas en condiciones diferentes.

BIBLIOGRAFÍA

1. Fisher J., «Practical pneumatic conveyor design», Chem. Eng., 65 (11), 114, 1958.
2. Gerchow F.J., «How to select a pneumatic conveying system», Chem. Eng., 82 (4), 72, 1975.
3. Gupta S.K., «Momentum Transfer Operations», Tata McGraw-Hill Publishing Company, New Delhi. 197
4. Fernandez, V.P., Peñuela, B.O. «Transporte neumático de granos y harinas». Proyecto de grado. Ingeniería Química. Universidad Nacional de Colombia. 1984.

