

## FLUJO DE FLUIDOS

La tubería DriscoPlex™ es usada para transportar fluidos que pueden ser líquidos o lodos, en los que las partículas sólidas se encuentran se transportan con líquidos, o bien gases. Esta sección proporciona información general para flujo de agua según las fórmulas de Hazen-Williams y de Manning y para flujo de gases a alta y baja presión de acuerdo a la fórmula de Mueller <sup>2</sup>. La información de flujo en este párrafo puede ser considerada a algunas condiciones y aplicaciones, pero no es totalmente válida para todas las situaciones. El usuario deberá verificar su aplicación antes del usarla.

### ***Aire Atrapado y Purgado de Vacío***

En terreno sinuoso o montañoso se deberá evitar pérdidas de presión originadas por aire atrapado en la línea. Esta situación se puede presentar cuando existe aire en el sistema que se acumula en las partes altas de la tubería. Esto reduce el área hidráulica de la tubería y restringe el flujo. Venteos como son los tubos “cuello de ganso” y las válvulas de expulsión de aire se pueden instalar para evitar el aire atrapado. Si la tubería tiene puntos mas altos de los venteos de los extremos de la línea es posible que sea necesario la instalación de válvulas de admisión de aire para prevenir el vacío, que podría colapsarla, producir un sifón o para poder drenarla.

---

<sup>2</sup> Para las fórmulas de flujo que requieran de la rugosidad interna del tubo, se usa típicamente un valor de  $\epsilon = 7 \times 10^{-5}$  pies.

## **Diámetro Interno**

La tubería de polietileno con diámetro exterior controlado DriscoPlex™ esta fabricada el método de extrusión que controla el diámetro externo y el espesor de la pared de la tubería. Como resultado, el diámetro interno variará de acuerdo a las tolerancias en el diámetro exterior y espesor de pared, además entre otras por variaciones como pueden ser el ovalamiento, descentrado del tubo, desalineamiento de las uniones, etc. El diámetro interno para cálculos de flujo se determina típicamente restando dos veces el promedio del espesor de pared del diámetro exterior promedio. El espesor promedio de pared se calcula como el espesor mínimo más el 6%.

Cuando la medida del diámetro interior se necesita para propósitos como dimensionar insertos o rigidizadores internos que tienen que encajar con precisión en el interior de la tubería, por favor referirse a los estándares del fabricante (ASTM, AWWA, etc.) o tomar las medidas de la tubería.

## **Hazen - Williams**

Para algunas aplicaciones, algunas fórmulas empíricas se pueden aplicar, y cuando se usan dentro de sus límites, se pueden obtener resultados confiables. Hazen y Williams desarrollaron una fórmula empírica para el agua a 60° F. La viscosidad del agua varía con respecto a la temperatura, por lo que se pueden tener algunas desviaciones cuando se usan para otras temperaturas.

Fórmula Hazen-Williams para pérdidas por fricción (cabeza) en pies:

$$H_f = (0.002083 L / d^{4.8655}) * (100 Q / C)^{1.85}$$

Fórmula Hazen-Williams para pérdidas por fricción (cabeza) en psi:

$$P_f = (0.0009015 L / d^{4.8655}) * (100 Q / C)^{1.85}$$

Donde:

$H_f$  = Pérdida por fricción, pies de agua.

L = Longitud de la tubería, pies.

d = Diámetro interno de la tubería, pulgadas.

Q = Flujo, galones/min.

C = Factor de fricción de Hazen-Williams, adimensional

$P_f$  = Pérdida de fricción, psi.

**Tabla 7 Factor de Fricción Hazen-Williams, C**

Material de la Tubería	Valores de C		
	Rango Alto/Bajo	Valor Promedio	Valor Típico del Diseño
Tubería de Polietileno	160/150	150-155 <sup>A</sup>	150
Tubería de Cemento, hierro o metal cementada en el interior	160/130	148	140
Tubera o tubing de cobre, plomo, estao o vidrio	150/120	140	130
Madera	145/110	120	110
Acero con y sin costura	150/80	130	100
Hierro dúctil o vaciado	150/80	130	100
Concreto	152/85	120	100
Acero Corrugado	-	60	60

<sup>A</sup> Determinado con la presencia del labio de fusión interior.

El flujo de agua que fluye en diferentes materiales y diámetros se puede compara usando la siguiente ecuación. Los subíndices 1 y 2 se refieren a la tubería de la que se conocen los datos y de la que no se conocen.

$$\% \text{ flujo} = 100(d_2 / d_1) * (C_2 / C_1)^{0.3806}$$

### ***Manning***

Para el flujo de agua en un canal abierto bajo una pendiente constante y una sección transversal uniforme del canal, la ecuación Manning puede ser usada. Un flujo de canal abierto existe cuando en una tubería que opera parcialmente llena. Como la formula Hazen-Williams, la ecuación de Manning está limitada para agua o líquidos con la viscosidad cinemática igual al agua.

Ecuación de Manning

$$V = (1.486 / n) r^{2/3} S^{1/2}$$

En donde:

V= velocidad de flujo, pies/segundo.

n = coeficiente de rugosidad, adimensional (tabla 8).

r = radio hidráulico, pies.

$$r = A / P$$

A = área de la sección transversal, pies cuadrados.

P = perímetro mojado por el flujo, pies.

S = pendiente hidráulica, pies/pies.

$$S = h_1 - h_2 / L = h_f / L$$

$h_1$  = elevación aguas arriba de la tubería.

$h_2$  = elevación aguas abajo de la tubería.

$h_f$  = pérdida por fricción (cabeza), pies de líquido.

Es recomendable combinar la ecuación Manning con:

$$Q = AV$$

Para obtener

$$Q = (1.486 A/n) r^{2/3} S^{1/2}$$

Cuando los términos son definidos como en la formula anterior y:

Q = flujo, pies cúbicos / segundos

Cuando una tubería circular esta operando llena o medio llena

$$r = D / 4 = d / 48$$

Donde

D =diámetro del tubo, pies

d = diámetro del tubo, pulgadas

Para flujo lleno de la tubería en pies cúbicos por segundo se puede calcular usando:

$$Q = (6.136 \times 10^{-4}) (d^{8/3} S^{1/2}) / n$$

El flujo a tubo lleno en galones por minuto puede ser estimado usando:

$$Q' = 0.275 (d^{8/3} S^{1/2}) / n$$

Tuberías casi llenas moverán mas líquido que una tubería totalmente llena. Cuando la tubería está ligeramente debajo de su capacidad total el radio hidráulico se reduce de manera significativa, pero el área de flujo se reduce muy poco. El flujo máximo de la tubería se alcanza al 93% de la capacidad de la tubería, y la velocidad máxima al 78% de la capacidad de esta.

**Tabla 8 Valores de n para el uso en la ecuación Manning**

Superficie	Rango de n	Diseño típico de n
Tubería de Polietileno	0.008-0.011	0.009
Tubería de Hierro dúctil sin recubrimiento	0.012-0.015	0.013
Tubería de Acero Corrugada	0.021-0.030	0.024
Tubería de Concreto	0.012-0.016	0.015
Tubería de Cerámica Cristalizada	0.011-0.017	0.013
Atarjeas de Cemento y Ladrillos	0.012-0.017	0.015
Madera	0.010-0.013	0.011
Canales de mampostera	0.017-0.030	0.021

### ***Flujos Comparativos para Encamisados***

La rehabilitación de tuberías de drenaje por gravedad dañadas, se puede realizar instalando un encamisado de polietileno en el interior del tubo original. Para la instalación de un encamisado normal, se requiere de un claro entre el diámetro exterior del tubo nuevo de polietileno y el diámetro interior de la tubería existente. Después de la rehabilitación la sección transversal de la tubería rehabilitada se verá reducida. Sin embargo, los encamisados con tubería de polietileno DriscoPlex™ tienen una superficie lisa que resiste el envejecimiento y la incrustación. Pese a lo anterior, es posible hacer un encamisado y mantener toda o la mayoría de la capacidad de flujo original. Ver tabla 9

La capacidad de flujos comparativos de tuberías circulares pueden ser determinadas por las siguientes formulas:

$$\% \text{ flujo} = 100 (Q_1 / Q_2) = 100(d_1^{8/3} / n_1) / (d_2^{8/3} / n_2)$$

La tabla 9 fue desarrollada usando la formula anterior donde  $d_1$  = Diam. Interior del encamisado y  $d_2$  = Diam. Interior existente del drenaje existente.

Tabla 9 Flujos Comparativos para Encamisados

Drenaje Existente D.I.	D. Ext. del Encamisado	Encamisado RD 32.5			Encamisado RD26			Encamisado RD21			Encamisado RD17		
		D.I. Encamisado	% flujos concreto	% flujo vs. cerámica	D.I. Encamisado	% flujos concreto	% flujo vs. cerámica	D.I. Encamisado	% flujo vs. concreto	% flujo vs. cerámica	D.I. Encamisado	% flujo vs. concreto	% flujo vs. cerámica
4	3.500	3.272	97.5%	84.5%	3.215	93.0%	80.6%	3.147	87.9%	76.2%	3.064	81.8%	70.9%
6	4.500	4.206	64.6%	56.0%	4.133	61.7%	53.5%	4.046	58.3%	50.5%	3.939	54.3%	47.0%
6	5.375	5.024	103.8%	90.0%	4.937	99.1%	85.9%	4.832	93.6%	81.1%	4.705	87.1%	75.5%
8	6.625	6.193	84.2%	73.0%	6.085	80.3%	69.6%	5.956	75.9%	65.8%	5.799	70.7%	61.2%
8	7.125	6.660	102.2%	88.6%	6.544	97.5%	84.5%	6.406	92.1%	79.9%	6.236	85.8%	74.4%
10	8.625	8.062	93.8%	81.3%	7.922	89.5%	77.6%	7.754	84.6%	73.3%	7.549	78.8%	68.3%
12	10.750	10.049	103.8%	90.0%	9.873	99.1%	85.9%	9.665	93.6%	81.1%	9.409	87.1%	75.5%
15	12.750	11.918	90.3%	78.2%	11.710	86.1%	74.6%	11.463	81.4%	70.5%	11.160	75.7%	65.6%
15	13.375	12.503	102.5%	88.9%	12.284	97.8%	84.8%	12.025	92.4%	80.1%	11.707	86.1%	74.6%
16	14.000	13.087	97.5%	84.5%	12.858	93.0%	80.6%	12.587	87.9%	76.2%	12.254	81.8%	70.9%
18	16.000	14.956	101.7%	88.1%	14.695	97.0%	84.1%	14.385	91.7%	79.4%	14.005	85.3%	74.0%
21	18.000	16.826	92.3%	80.0%	16.532	88.1%	76.3%	16.183	83.2%	72.1%	15.765	77.5%	67.1%
24	20.000	18.695	85.6%	74.2%	18.369	81.7%	70.8%	17.981	77.2%	66.9%	17.506	71.9%	62.3%

Drenaje Existente D.I.	D. Ext. del Encamisado	Encamisado RD 32.5			Encamisado RD26			Encamisado RD21			Encamisado RD17		
		D.I. Encamisado	% flujos concreto	% flujo vs. cerámica	D.I. Encamisado	% flujos concreto	% flujo vs. cerámica	D.I. Encamisado	% flujos concreto	% flujo vs. cerámica	D.I. Encamisado	% flujos concreto	% flujo vs. cerámica
24	22.000	20.565	110.4%	95.7%	20.206	105.3%	91.3%	19.779	99.5%	86.2%	19.256	92.6%	80.3%
27	24.000	22.434	101.7%	88.1%	22.043	97.0%	84.1%	21.577	91.7%	79.4%	21.007	85.3%	74.0%
30	28.000	26.174	115.8%	100.4%	25.717	110.5%	95.8%	25.173	104.4%	90.5%	24.508	97.2%	84.2%
33	30.000	28.043	108.0%	93.6%	27.554	103.0%	89.3%	26.971	97.3%	84.3%	26.259	90.6%	78.5%
36	32.000	29.913	101.7%	88.1%	29.391	97.0%	84.1%	28.770	91.7%	79.4%	28.009	85.3%	74.0%
36	34.000	31.782	119.5%	103.6%	31.228	114.1%	98.9%	30.568	107.7%	93.4%	29.760	100.3%	86.9%
42	36.000	33.652	92.3%	80.0%	33.065	88.1%	76.3%	32.366	83.2%	72.1%	31.511	77.5%	67.1%
48	42.000	39.260	97.5%	84.5%	38.575	93.0%	80.6%	37.760	87.9%	76.2%	36.762	81.8%	70.9%
54	48.000	44.869	101.7%	88.1%	44.086	97.0%	84.1%	43.154	91.7%	79.4%	42.014	85.3%	74.0%
60	54.000	50.478	105.1%	91.1%	49.597	100.3%	86.9%	48.549	94.8%	82.1%	47.266	88.2%	76.5%



## **Flujo de Gas Compresible**

Las fórmulas para estimar los flujos de gas en tuberías lisas de polietileno DriscoPlex™ se pueden usar:

### **FLUJO DE GAS DE ALTA PRESIÓN**

Para presiones mayores a 1 psig, la ecuación Mueller de alta presión puede ser usada. Debido a algunas consideraciones de la ecuación, el flujo calculado puede ser diferente al flujo real.

Ecuación Mueller de alta presión:

$$Q_h = (2826d^{2.725} / S_g^{0.425}) * (p_1^2 - p_2^2 / L)^{0.575}$$

Donde:

$Q_h$  = flujo, ft<sup>3</sup> estándar /hora.

$S_g$  = gravedad específica del gas. (Tabla 35)

$p_1$  = presión de entrada, lb/in<sup>2</sup> absolutas.

$p_2$  = presión de salida, lb/in<sup>2</sup> absolutas.

L = longitud, pies.

d = Diámetro interior, pulgadas.

### **FLUJO DE GAS DE BAJA PRESIÓN**

Para presiones menores a 1 psig, como pueden ser las líneas de recolección de biogas en rellenos sanitarios o control de olores en plantas de tratamiento, se puede usar la fórmula de Mueller para baja presión.

Ecuación Mueller para baja presión:

$$Q_h = (2971d^{2.725} / S_g^{0.425}) (h_1 - h_2 / L)^{0.575}$$

Donde los términos usados son los mismos mas:

$h_1$  = presión de entrada, pulgadas de H<sub>2</sub>O

$h_2$  = presión de salida, pulgadas de H<sub>2</sub>O

### **Perdidas por Fricción en las Válvulas y Conexiones**

El flujo que circula por válvulas y conexiones experimentará pérdidas por fricción, y esta pérdida se expresa normalmente como el equivalente en la longitud de la tubería. La longitud equivalente se calcula multiplicando el coeficiente de resistencia correspondiente,  $K'$ , por el diámetro del accesorio,  $D$ , en pies.

$$L = K' D$$

**Tabla 10 Longitudes Equivalentes de las conexiones,  $K'D$**

<i>Ajuste</i>	<i>KD</i>
Codo Moldeado de 90°	30 D
Codo Moldeado de 45°	16 D
Codo Fabricado de 15°	4 D
Codo Fabricado de 22.5°	6 D
Codo Fabricado de 30°	8 D
Codo Fabricado de 45°	12 D
Codo Fabricado de 60°	16 D
Codo Fabricado de 67.5°	18 D
Codo Fabricado de 75°	20 D
Codo Fabricado de 90°	24 D
Tee recta de ramaleo (con silleta)	60 D
Tee recta	20 D
Válvula de Globo convencional, abierta	350 D
Válvula de Angulo convencional, abierta	180 D
Válvula Convencional de Compuerta, abierta	15 D
Válvula de Mariposa abierta	40 D
Válvula Convencional Check de Columpio	100 D