

UNIVERSIDAD NACIONAL DE FORMOSA



FACULTAD DE RECURSOS NATURALES

Red Colectora de Desagües Cloacales

Ingeniería Sanitaria

Mg. Ing. Guillermo José Mendez

Octubre de 2018

1. INTRODUCCIÓN

Los líquidos cloacales son el resultado de diferentes aportes que varían en gran proporción en cuanto a caudales y composición. Se define como **líquidos cloacales** a aquellos procedentes de la actividad humana, que llevan en su composición gran parte de agua y se originan a partir de la evacuación de excretas, residuos domésticos, arrastre de lluvia, infiltraciones y en algunos casos residuos industriales.

El objeto fundamental de la red colectora de desagües cloacales, es el de transportar los líquidos cloacales con las sustancias que lo integran, lo más rápidamente posible a su destino final.

Por tanto, la red colectora no sólo debe proyectarse para cumplir dos objetivos básicos:

- Evacuar eficientemente el caudal de diseño.
- Arrastrar del material sólido, minimizando la posibilidad de que el mismo pueda sedimentar.

La evacuación del caudal de diseño se realiza por gravedad mediante conductos cerrados, por lo general cañerías de PVC, PEAD o PRFV que funcionan como verdaderos canales de sección circular.

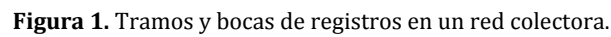
A su vez el líquido cloacal presenta una carga orgánica considerable que, por acción de bacterias presentes en ella se irá degradando con el transcurso del tiempo. Si el líquido no está en contacto con el oxígeno trabajarán bacterias anaerobias que generarán malos olores producto de gases sulfurosos (e.g. H_2S) emanados en este proceso.

Es fundamental, contar con una correcta ventilación que permita mantener las presiones atmosféricas en la red y evitar la emanación de malos olores.

Cabe mencionar que la sedimentación de material sólido es difícil de evitar, en especial en las colectoras que reciben pocas conexiones (lo que es habitual al comienzo del período de diseño) deberán preverse los accesos que posibiliten las eventuales desobstrucciones.

Generalmente la red colectora de desagües cloacales descargará a una estación elevadora, cuyas características se verán en otros documentos, que mediante una cañería de impulsión destinada descargará el efluente en el sistema de tratamiento de efluentes cloacales.

a. **Tramos:** Son conductos de cañería si bifurcaciones acoples y/o curvaturas que se inician y terminan en un boca de registro (BR), tal como puede verse en la Figura 1.



EN CALZADA
CORTE A-A

ASIENTO Y ANCLAJE
CON MORTERO "K"

SUPERFICIE EXISTENTE

MARCO Y TAPA
(S/PLANO TIPO C-08-1)

HORMIGÓN
H-21 ; A-42

HORMIGÓN "B"

HORMIGÓN "B"

CORTE E-E

B

EJE DE ACOMETIDA

REF. 2ø12

1ø12c/12cm
en ambas direcciones

A

B

EN VEREDA
CORTE C-C

ASIENTO Y ANCLAJE
CON MORTERO "K"

SUPERFICIE EXISTENTE

MARCO Y TAPA
(S/PLANO TIPO C-08-1)

HORMIGÓN
H-21 ; A-42

HORMIGÓN "B"

HORMIGÓN "B"

CORTE F-F

D

EJE DE ACOMETIDA

REF. 2ø12

1ø12c/12cm
en ambas direcciones

C

D

Página 3

- c. **Conexiones domiciliarias:** realizan la descarga efectiva de los efluentes de cada usuario a la red colectora. Se realizan en los tramos. Si la traza de la red colectora se realiza en la vereda lindante al predio del usuario se ejecutará una conexión corta, si la traza de la red colectora se realiza en la calle se ejecutará una conexión corta. Si la traza de la red colectora se realiza en la vereda opuesta al predio del usuario se ejecutará una conexión larga. Las conexiones también permiten la ventilación de la red colectora.

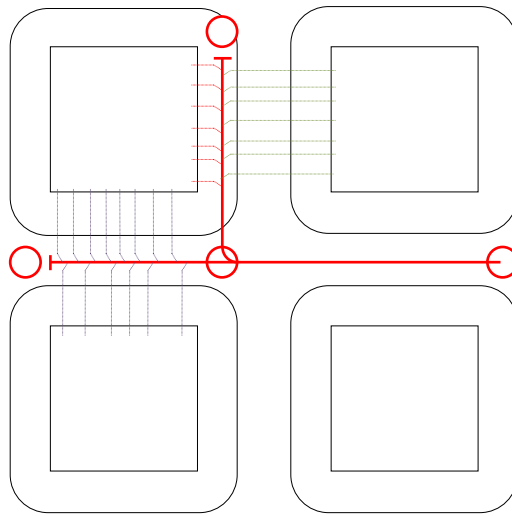


Figura 3. Boca de Registro

(Ref: conexiones cortas en rojo, conexiones largas en verde y conexiones intermedias en violeta)

3. PARÁMETRO DE CÁLCULO Y DISEÑO

3.1. Tapada Mínima

La tapada mínima sobre el intradós de las colectoras será de 0,90 m para cañerías instaladas en calzada. Cuando se instalen cañerías por vereda, la tapada mínima será de 0,80 m siempre que no afecten el desagüe de fincas frentistas.

El motivo de esta condición se fundamenta en la necesidad de contar con un gradiente hidráulico entre la conexión domiciliar y la colectora propiamente, recordar que la conexión domiciliar de desagües tiene una profundidad y una pendiente que obliga a la conexión final a tener una tapada sobre vereda. Además debe cubrirse la cañería, de manera que asegure una protección contra cargas externas.

3.2. Diámetro Mínimo de Cañería

El diámetro mínimo de cañerías será de 150 mm. Así, en el caso de cañerías de PVC, el diámetro interno inmediatamente superior es de 153,6 mm correspondiente a un diámetro nominal de 160 mm (DN 160 mm).

Se la fundamenta en el hecho de que el diámetro de la conexión domiciliar es, para consumos normales (no especiales), de 100 mm, pudiendo el Ente Responsable del Servicio, asegurar descargas sólidas de hasta ese tamaño, es decir, que si el usuario sufre algún inconveniente en su descarga, ello puede deberse en primer lugar a su propio a su propia instalación, luego al funcionamiento de la red, que está a cargo del ente prestatario, del servicio.

El diámetro interno (Di) de la conexión domiciliar se establece universalmente de 100 mm, por ser el diámetro de mayor de descarga de un artefacto sanitario domiciliario (inodoro).

3.3. Pendiente de la cañería

La pendiente mínima para cañerías de PVC estará acorde con el diámetro de la misma, tal lo indicado en la Tabla 1.

Tabla 1. Pendientes Mínimas para cañería de PVC

Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Interno (mm)	Pendiente Mínima
160	153,6	0,30 %
200	192,0	0,30 %
250	240,2	0,25 %
315	302,6	0,20 %

Con las pendientes mínimas se buscar alcanzar velocidades escurrimiento acordes con las condiciones de autolimpieza, es decir el arrastre de sólidos sedimentados.

3.4. Velocidad Mínima en Cañerías

La velocidad mínima en cañerías será aquella que permita el arrastre de partículas en general que posee el líquido cloacal crudo, produciendo de esa manera la limpieza de la cañería (autolimpieza).

Este valor de velocidad, para líquidos típicos de nuestro país, (en general no se cuenta con trituradores domiciliarios que aportan un alto contenido de material sólido sedimentable), se encuentra comprendido entre: 0,50 Y 0,55 m/s.

Evidentemente, este valor deberá verificarse para cada Di determinado en la red colectora. Este punto es desarrollado en el tema de *Fuerza tractiva*.

3.5. Velocidad Máxima en Cañerías

La velocidad máxima admitida en las redes colectoras es aquella que no produce erosión en las cañerías y en las bocas de registros e instalaciones en general.

Una velocidad superior a los 3.00m/seg, produce un efecto erosivo en las cañerías, ese valor puede darse a partir de una gran pendiente (aproximadamente del 7 %). Para esos casos se colocan bocas de registro intermedias, disminuyendo la pendiente obligada por el terreno.

3.6. Diferencia de Cotas entre Cañería que Ventila y Cañería que Descarga

A fin de evitar que el líquido que descarga un tramo salga por la cañería que ventila en la misma boca de registro, debe existir entre ambos niveles de intradós una diferencia mínima de 0,15 m, tal como se indica en la Figura 4.

3.7. Carga y Descarga en Bocas de Registro

En las Bocas de Registro, ubicadas en cada intersección de calles, podrán acometer o descargar varias colectoras, pero no se permitirá más de una salida, siempre el líquido cloacal deberá salir por una sola descarga de la Boca de Registro, la razón se fundamenta en la

necesidad ordenar un gasto en extremidad único para cada descarga, (si existieran varias salidas no se podría determinar ajustadamente los caudales de salidas).

3.8. Pendiente Nula en Cojinete de Boca de Registro

La cota de descarga en una Boca de Registro será igual a la cota de la más baja que acomete a la misma, es decir, se desprecia la pendiente en la longitud del ancho de la Boca de Registro.

3.9. Cañerías Subsidiarias

Son aquellas cañerías que reciben las conexiones domiciliarias, previo a la descarga en colectora, cuando estas se hallen a una profundidad igual o mayor a 3,00 m o sean de un DN > a 300mm.

Generalmente y por razones práctica, se la colocan, en la misma zanja y sobre las colectoras profundas, si la tapada lo permite. Se fundamenta en hecho de disminuir la altura del salto, para evitar erosión (por choque), entre la conexión domiciliaria y la colectora propiamente.

3.10. Empalme de Cañería

Se colocarán Bocas de Registro cuando se dieran las siguientes condiciones:

- Exista un cambio de pendiente en la cañería,
- Exista un cambio de dirección en la traza de la cañería
- Debe realizarse un cambio de diámetro de cañería, en cuyo caso se pasará de un diámetro menor a uno mayor, y nunca a la inversa, aun cuando la pendiente del tramo sea importante y otorgue una mayor capacidad de conducción al tramo siguiente.
- La distancia del tramo supere los 120 m.

4. CONSIDERACIONES BÁSICAS A TENER PRESENTE EN EL TRAZADO Y CÁLCULO PRÁCTICOS

La red colectora de desagües cloacales no puede ni debe almacenar el líquido cloacal, por lo que su diseño se realiza con el objetivo de transportar los máximos caudales que descargan en ella.

Dado que la red colectora recibe los efluentes cloacales de los usuarios de la red de agua potable. Su funcionamiento está ligado al consumo de agua y, por tanto, su dimensionamiento se realiza considerando el caudal máximo horario de consumo de agua afectado por un coeficiente de volcamiento (\emptyset) que descuenta los volúmenes de agua que son consumidos por los usuarios y que no vuelven a la red colectora. En efecto, existen actividades como; el lavado de patio, el riego de jardines y el lavado de ropas donde la totalidad o parte del volumen de agua utilizado no se descarga a la red colectora.

Por tanto el caudal máximo horario (QE) que se descargará a una red colectora de desagües cloacales se puede obtener de la Ecuación 1.

$$QE_f = \frac{Pf \cdot \delta \cdot \alpha \cdot \emptyset}{86.400 \text{ s/día}} \quad (1)$$

Siendo:

Pf : Población futura que descargará a la red colectora (hab).

δ : Dotación diaria (l/hab.día).

α : coeficiente de mayoración.

\emptyset : coeficiente de volcamiento = 0,80

El concepto de gasto hectométrico (Ghm), visto para el cálculo de la red de agua es el mismo en este caso de red colectora, solamente que a modo de simplificación práctica definiremos el gasto por metro (Gm) en lugar del gasto hectométrico, como se indica en la Ecuación 2.

$$Gm = QE_f / L(m) \quad (2)$$

Siendo:

L : longitud total de la red (hab).

El caudal de cálculo de cada tramo se establece del producto entre gasto métrico y la longitud del tramo (que considera el aporte efluente cloacal de los usuarios linderos al tramo) mas el caudal afluente de los tramos precedentes que en el descargan.

En la Figura 4 se ilustra una red de ocho tramos, primeramente debe calcularse los caudales totales de los tramos que ventilan (Tr 1, Tr 3 y Tr 6) ya que estos no recibirán caudales de afluentes al no tener tramos aguas arriba. La determinación del caudal de cálculo en estos tramos se simplifica dado que se obtiene únicamente del producto entre la longitud del tramo y el gasto métrico ($G_m \cdot L_{Tr_i}$). El procedimiento prosigue con los tramos subsiguientes pero en ellos, además del aporte del caudal en el tramo, debe adicionarse los caudales de cálculo de tramos afluentes. En la Tabla 2 se indica las expresiones para determinar los caudales de cálculos de cada tramo de la red colectora de la Figura 4.

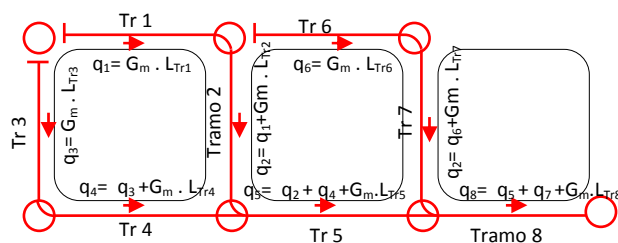


Figura 4. Ejemplo de una red colectora.

Tabla 2. Caudales de Cálculo de cada tramo

Tramo	Longitud de tramo	Caudales		
		Aguas Arriba	Aporte Tramo	Total Tramo
	[m]	[l/s]	[l/s]	[l/s]
Tr1	L_{Tr1}	0	$G_m \times L_{Tr1}$	$q_1 = G_m \times L_{Tr1}$
Tr2	L_{Tr2}	q_1	$G_m \times L_{Tr2}$	$q_2 = q_1 + G_m \times L_{Tr2}$
Tr3	L_{Tr3}	0	$G_m \times L_{Tr3}$	$q_3 = G_m \times L_{Tr3}$
Tr4	L_{Tr4}	q_3	$G_m \times L_{Tr4}$	$q_4 = q_3 + G_m \times L_{Tr4}$
Tr5	L_{Tr5}	$q_2 + q_4$	$G_m \times L_{Tr5}$	$q_5 = q_2 + q_4 + G_m \times L_{Tr5}$
Tr6	L_{Tr6}	0	$G_m \times L_{Tr6}$	$q_6 = G_m \times L_{Tr6}$
Tr7	L_{Tr7}	q_6	$G_m \times L_{Tr7}$	$q_7 = q_6 + G_m \times L_{Tr7}$
Tr8	L_{Tr8}	$q_5 + q_7$	$G_m \times L_{Tr8}$	$q_8 = q_5 + q_7 + G_m \times L_{Tr8}$

5. DIMENSIONAMIENTO DE LOS TRAMOS

El dimensionamiento de los tramos consiste en la determinación del diámetro del conducto apto para transportar el caudal de cálculo. Dado que la red colectora funciona a gravedad, además debe establecerse el tirante del líquido (h) en correspondencia con el mencionado caudal.

Así los tramos de la red colectora funcionan como canales de sección circular y, por tanto puede utilizarse la expresión de Chezy – Manning, desarrollada en la Ecuación 3.

$$Q = \frac{1}{n} \cdot \Omega \cdot Rh^{2/3} \cdot i^{1/2} \quad (3)$$

Donde:

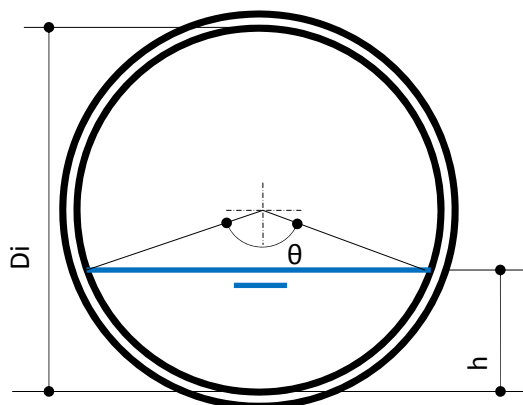
n: coeficiente de rugosidad (0,01 para cañerías de PVC).

Ω : sección mojada de la cañería (m²).

Rh: Radio Hidráulico (m).

i: Pendiente de la cañería (m/m).

En el caso de canales circulares funcionando parcialmente llenos (Figura 5), la sección mojada y el radio hidráulico pueden calcularse mediante las Ecuaciones 6 y 7, respectivamente.



Donde:

$$h = \frac{Di}{2} \cdot \left(1 - \cos \frac{\theta}{2}\right) \quad (4)$$

$$\theta = 2 \arccos(1 - 2h/Di) \quad (5)$$

$$Rh = Di/4 \cdot \left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta}\right) \quad (6)$$

$$\Omega = Di^2/8 \cdot \theta \cdot \left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta}\right) \quad (7)$$

Figura 5. Cañería funcionando parcialmente llena.

Reemplazando las Ecuación 6 y 7 en la Ecuación el caudal quedaría expresado en la Ecuación 8.

$$Q = \frac{1}{n} \cdot \frac{Di^{8/3}}{32} \cdot \theta \cdot \left(\frac{1-\sin\theta}{\theta} \right)^{5/3} \cdot i^{1/2} \quad (8)$$

La solución de la Ecuación 8 puede realizarse por iteración, en la cual conocido el valor de caudal se puede encontrar el valor de tirante (h) que satisfaga dicho requerimiento.

Otra solución es recurrir a las tablas que simplifican el cálculo. En efecto, conocidos los valores de i (pendiente), Q (caudal) y n (coeficiente de rugosidad), es posible expresar dichas variables en el lado derecho de la Ecuación 8, tal como pueden expresarse en la Ecuación 9.

$$C1 = \frac{Q \cdot n}{Di^{8/3} \cdot i^{1/2}} = \frac{\theta}{32} \cdot \left(\frac{1-\sin\theta}{\theta} \right)^{5/3} \quad (9)$$

Woodward y Posey expresan para cada valor de C_1 una relación de h/D que satisface la Ecuación 9, tal como puede observarse en la Tabla 3.

Tabla 3. Tablas de Woodward y Posey

$\frac{h}{D}$	$\frac{Q}{D^2}$	$\frac{Rh}{D}$	$\frac{Q \cdot n}{D^{5/8} \cdot i^{1/2}}$	$\frac{Q \cdot h^{1/3} \cdot n}{h^3 \cdot i^{1/2}}$	$\frac{h}{D}$	$\frac{Q}{D^2}$	$\frac{Rh}{D}$	$\frac{Q \cdot n}{D^{5/8} \cdot i^{1/2}}$	$\frac{Q \cdot h^{1/3} \cdot n}{h^3 \cdot i^{1/2}}$
0,01	0,0013	0,0066	0,000047	10,113	0,51	0,4027	0,2531	0,161147	0,971
0,02	0,0037	0,0132	0,00021	7,107	0,52	0,4127	0,2562	0,166476	0,952
0,03	0,0069	0,0197	0,00050	5,767	0,53	0,4227	0,2592	0,171823	0,934
0,04	0,0105	0,0262	0,00093	4,963	0,54	0,4327	0,2621	0,177185	0,916
0,05	0,0147	0,0326	0,00150	4,411	0,55	0,4426	0,2649	0,182558	0,899
0,06	0,0192	0,0389	0,00221	4,001	0,56	0,4526	0,2676	0,187935	0,882
0,07	0,0242	0,0451	0,00306	3,681	0,57	0,4625	0,2703	0,193313	0,865
0,08	0,0294	0,0513	0,00407	3,421	0,58	0,4724	0,2728	0,198687	0,849
0,09	0,0350	0,0575	0,00521	3,205	0,59	0,4822	0,2753	0,204052	0,833
0,10	0,0409	0,0635	0,00651	3,020	0,6	0,4920	0,2776	0,209403	0,818
0,11	0,0470	0,0695	0,00795	2,861	0,61	0,5018	0,2799	0,214734	0,802
0,12	0,0534	0,0755	0,00953	2,721	0,62	0,5115	0,2821	0,220041	0,787
0,13	0,0600	0,0813	0,01126	2,597	0,63	0,5212	0,2842	0,225318	0,772
0,14	0,0668	0,0871	0,01314	2,486	0,64	0,5308	0,2862	0,230560	0,758
0,15	0,0739	0,0929	0,01515	2,385	0,65	0,5404	0,2881	0,235762	0,744
0,16	0,0811	0,0986	0,01731	2,294	0,66	0,5499	0,2900	0,240916	0,730
0,17	0,0885	0,1042	0,01960	2,210	0,67	0,5594	0,2917	0,246019	0,716
0,18	0,0961	0,1097	0,02203	2,133	0,68	0,5687	0,2933	0,251064	0,702
0,19	0,1039	0,1152	0,02460	2,062	0,69	0,5780	0,2948	0,256045	0,689
0,20	0,1118	0,1206	0,02729	1,995	0,7	0,5872	0,2962	0,260955	0,676
0,21	0,1199	0,1259	0,03012	1,933	0,71	0,5964	0,2975	0,265788	0,662
0,22	0,1281	0,1312	0,03308	1,875	0,72	0,6054	0,2987	0,270538	0,650
0,23	0,1365	0,1364	0,03616	1,821	0,73	0,6143	0,2998	0,275198	0,637
0,24	0,1449	0,1416	0,03937	1,770	0,74	0,6231	0,3008	0,279761	0,624
0,25	0,1535	0,1466	0,04270	1,721	0,75	0,6319	0,3017	0,284219	0,612
0,26	0,1623	0,1516	0,04614	1,675	0,76	0,6405	0,3024	0,288565	0,600
0,27	0,1711	0,1566	0,04970	1,632	0,77	0,6489	0,3031	0,292791	0,588

0,28	0,1800	0,1614	0,05337	1,591	0,78	0,6573	0,3036	0,296888	0,576
0,29	0,1890	0,1662	0,05715	1,551	0,79	0,6655	0,3039	0,300848	0,564
0,30	0,1982	0,1709	0,06104	1,513	0,8	0,6736	0,3042	0,304662	0,552
0,31	0,2074	0,1756	0,06503	1,477	0,81	0,6815	0,3043	0,308320	0,541
0,32	0,2167	0,1802	0,06912	1,443	0,82	0,6893	0,3043	0,311812	0,529
0,33	0,2260	0,1847	0,07330	1,410	0,83	0,6969	0,3041	0,315126	0,518
0,34	0,2355	0,1891	0,07758	1,378	0,84	0,7043	0,3038	0,318251	0,507
0,35	0,2450	0,1935	0,08195	1,347	0,85	0,7115	0,3033	0,321173	0,495
0,36	0,2546	0,1978	0,08641	1,318	0,86	0,7186	0,3026	0,323879	0,484
0,37	0,2642	0,2020	0,09095	1,289	0,87	0,7254	0,3018	0,326353	0,473
0,38	0,2739	0,2062	0,09557	1,262	0,88	0,7320	0,3007	0,328577	0,462
0,39	0,2836	0,2102	0,10027	1,235	0,89	0,7384	0,2995	0,330532	0,451
0,40	0,2934	0,2142	0,10503	1,209	0,9	0,7445	0,2980	0,332194	0,440
0,41	0,3032	0,2182	0,10987	1,184	0,91	0,7504	0,2963	0,333535	0,429
0,42	0,3130	0,2220	0,11477	1,160	0,92	0,7560	0,2944	0,334525	0,418
0,43	0,3229	0,2258	0,11973	1,137	0,93	0,7612	0,2921	0,335122	0,407
0,44	0,3328	0,2295	0,12475	1,114	0,94	0,7662	0,2895	0,335274	0,395
0,45	0,3428	0,2331	0,12983	1,092	0,95	0,7707	0,2865	0,334911	0,384
0,46	0,3527	0,2366	0,13495	1,070	0,96	0,7749	0,2829	0,333932	0,372
0,47	0,3627	0,2401	0,14011	1,049	0,97	0,7785	0,2787	0,332177	0,360
0,48	0,3727	0,2435	0,14532	1,029	0,98	0,7816	0,2735	0,329356	0,348
0,49	0,3827	0,2468	0,15057	1,009	0,99	0,7841	0,2666	0,324764	0,334
0,50	0,3927	0,2500	0,15584	0,990	1,00	0,7854	0,2500	0,311685	0,312

De esta manera se debe calcular el coeficiente C_1 y determinar la relación h/D_i mediante la Tabla 3. Si el valor de h/D_i supera el valor de 0,94 es necesario aumentar el diámetro de la cañería a fin de permitir transportar el caudal de cálculo.

6. VERIFICACIÓN DE AUTOLIMPIEZA

En el líquido cloacal se encuentran gran cantidad de sustancias, algunas solubilizadas y una gran parte no, las que constituyen sólidos de características diversas en cuanto a su composición, forma, tamaño, peso específico, etc., los cuales son arrastrados por la corriente o, en caso contrario sedimentan.

La naturaleza orgánica del líquido cloacal da lugar a proceso de transformaciones biológicas del mismo, atribuible a la presencia de microorganismos y la acción que estos generan, que dan por resultado el desprendimiento de gases sumamente agresivos desde el punto de vista del ataque corrosivo y que incluso, de concentrarse por defecto del diseño, puede originar accidentes graves, he aquí la importancia de que los componentes sólidos del líquido cloacal no se depositen en la solera de la cañería.

Es por esto que uno de los objetivos de la red colectora es *arrastrar del material sólido, minimizando la posibilidad de que el mismo pueda sedimentar*.

Antiguamente las normativas hablaban de “Velocidad de Autolimpieza para velocidad 0,6 m/s a Sección Llena”, pero en los últimos años se ha impuesto el concepto de fuerza tractiva , el cual será desarrollados en detalle más adelante.

El esfuerzo tractivo o tensión tangencial T_t desarrollada por el líquido en movimiento sobre la superficie de contacto, puede determinarse distribuyendo la fuerza F_t , debida al volumen indicado en la Figura 6, sobre la superficie lateral que el mismo ocupa. La fuerza F_t puede ser expresada en la Ecuación 10.

$$F_t = \gamma \cdot \Omega \cdot \Delta L \cdot \sin \alpha \quad (10)$$

Donde:

F_t = fuerza tangencial (kg)

γ = peso específico del agua (kg/m^3)

Ω = sección mojada (m^2)

ΔL = longitud del elemento de volumen en análisis (m)

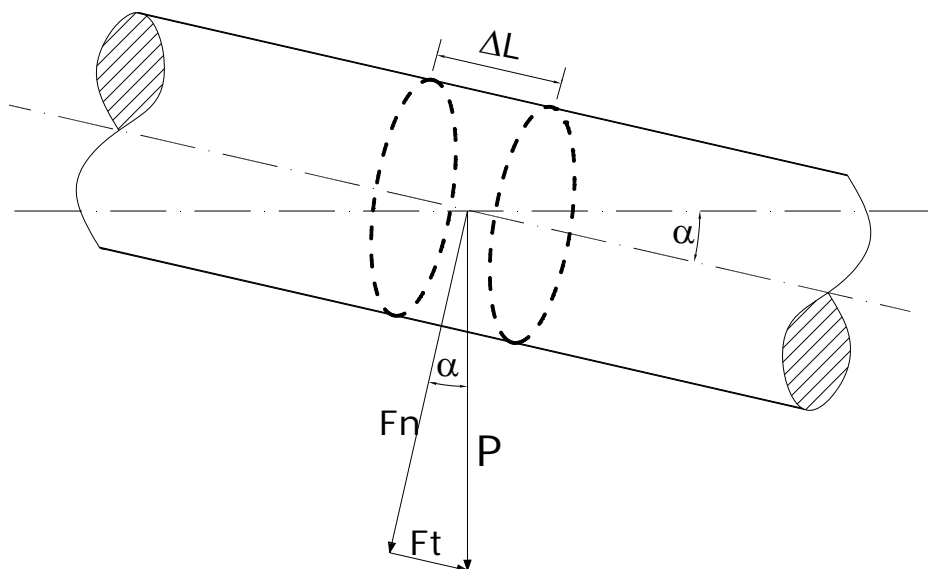


Figura 6. Fuerza Tangencial en cañerías

La Tensión Tractriz T_t se obtiene como el cociente entre la Fuerza Tractriz (F_t) y la superficie mojada en la sección Δ_L (SL), se obtiene así la Ecuación 11.

$$T_t = \frac{F_t}{S_L} = \frac{\gamma \cdot \Omega \cdot \Delta_L}{P_m \cdot \Delta_L} \cdot \sen \alpha \quad (11)$$

Donde

P_m : Perímetro mojado de la sección (m)

Al ser el valor de α muy pequeño puede aceptarse la Ecuación 12.

$$\sen \alpha \approx \tg \alpha = i \quad (12)$$

De forma que la Ec. 11 puede expresarse en la Ecuación 13.

$$T_t = \gamma \cdot R_h \cdot i \quad (13)$$

R_h = Radio hidráulico (m)

Esta tensión tangencial o Tensión tractriz T_t producida por el peso propio del líquido sobre la superficie de las paredes de la cañería, es la que produce el arrastre de los sólidos contenidos en el fluido, generando de este modo la autolimpieza de la cañería.

$T_t \geq 0,10 \text{ Kg/m}^2$ Valor adoptado por las normas asegurar la autolimpieza.

Cuando se alcanza este valor de tensión se inicia el movimiento de partículas sólidas de un cierto tamaño y peso específico, lo que asegura que los sólidos depositados puedan ser puestos en movimiento y arrastrados por el escurrimiento, produciéndose la autolimpieza de la cañería. El concepto es similar al de velocidad mínima de autolimpieza.

La Tensión tractriz T_t es directamente proporcional al peso específico del líquido, al radio hidráulico y a la pendiente. Considerando que durante la vida útil de las redes colectoras la pendiente del tramo se mantiene constante y el peso específico del líquido presenta variaciones despreciables, el valor de T_t variará con el radio hidráulico que aumenta con caudal transportado. De forma que durante la ocurrencia de los caudales máximos horarios el flujo tenderá al arrastre de los sólidos y durante los caudales mínimos horarios tenderá a la deposición de sólidos.

En virtud de esto, para la verificación de condiciones de autolimpieza se fija como escenario de análisis la ocurrencia del caudal máximo horario durante el día de menor consumo de agua en el año 0 (de puesta en marcha de la obra), que se denomina *caudal de limpieza* (Q_{L0}) que puede ser expresado en la Ecuación 14.

$$Q_{L0} \left[\frac{l}{s} \right] = \frac{P_0 \cdot \delta \cdot \emptyset \cdot \beta_1 \cdot \alpha_2}{86400} \quad (14)$$

Siendo:

P_f : Población inicial que descargará a la red colectora (hab).

δ : Dotación diaria (l/hab.día).

α_2 : coeficiente de mayoración a caudal máximo horario.

β_1 : coeficiente de minoración a caudal mínimo diario.

\emptyset : coeficiente de volcamiento = 0,80

De esta manera se busca que la red colectora sea capaz de propiciar el arrastre de sólidos (limpieza) al menos una vez en el día durante todos los días de su vida útil.