

ANEJO NÚM. 6
CÁLCULOS HIDRÁULICOS

LÍNEA PIEZOMÉTRICA

1.- FÓRMULAS EMPLEADAS

Para el cálculo de los distintos elementos que producen pérdidas de carga, se han empleado las siguientes fórmulas.

1.2.- PÉRDIDA EN REJAS

La fórmula que determina la pérdida de carga, a través de una reja, viene dada por la siguiente expresión:

$$h = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$k_1 = \frac{1}{m}$ (m = fracción de paso).

k_2 : Depende de la forma del barroto.

k_3 : Función de la geometría de la reja.

v: Velocidad de acercamiento (m/s).

g: Aceleración de la gravedad (m²/s).

1.2.- PÉRDIDA EN VERTEDERO

La altura de la lámina de agua sobre vertedero se determina de la expresión:

$$Q = \mu \cdot L \cdot \sqrt{2gh}$$

μ : Se adopta por experiencia 0'4.

L: Longitud del vertedero (m).

Q: Caudal sobre vertedero (m³/s).

h: Altura de la lámina sobre vertedero (m).

1.3.- PÉRDIDA EN TUBERÍAS

1.3.1.- PÉRDIDA DE CARGA POR ROZAMIENTO LINEAL.

Para el análisis de la pérdida de carga en tuberías se usa la expresión propuesta por Colebrook, universalmente aceptada para el cálculo de pérdidas de carga en tuberías de presión por las que circula el agua en régimen de transición o turbulento. La dificultad de la determinación de la pérdida de carga obliga al uso de tablas o bien, como hemos realizado mediante hoja de cálculo, a la resolución numérica de dicha ecuación para los valores concretos de rugosidad, velocidad y diámetro de la tubería.

La pérdida de carga viene dada por la siguiente expresión (pérdida de carga unitaria según Darcy):

$$j = \frac{\lambda}{\phi} \cdot \frac{v^2}{g}$$

En donde:

j: Pérdida de carga (m.c.a./m).

λ : Coeficiente de pérdida de carga adimensional.

ϕ : Diámetro de la tubería (m).

v: Velocidad media del fluido en la tubería (m/s).

g: Aceleración de la gravedad (m/s²).

El coeficiente de pérdida de carga adimensional se obtiene de la siguiente expresión:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{k}{3'71\phi} + \frac{2'51 \cdot v}{v \cdot \phi \cdot \sqrt{\lambda}} \right)$$

En donde:

k: Rugosidad equivalente (m).

v: Viscosidad cinemática (m²/s).

Operando en ambas expresiones se obtiene la fórmula de Colebrook:

$$v = -2 \sqrt{2g \cdot \phi \cdot j} \log \left(\frac{k}{3'71\phi} + \frac{2'51 \cdot v}{\phi \cdot \sqrt{2g \cdot \phi \cdot j}} \right)$$

Para un caudal y sección determinada se obtiene el valor de la pérdida de carga en m.c.a./m de tubería. Esta expresión se resuelve numéricamente para la determinación del valor de "j".

1.3.2.- PÉRDIDAS DE CARGA EN SINGULARIDADES.

La pérdida de carga genérica en una singularidad viene dada por la siguiente expresión, en donde “k” adopta distintos valores según el accidente.

$$h = k \cdot \frac{v^2}{2g}$$

En donde:

h: Pérdida de carga (m.c.a.).

v: Velocidad media del fluido de la tubería (m/s).

g: Aceleración de la gravedad (m/s²).

k: Coeficiente de la singularidad.

A continuación se representa también el valor de “k” para distintas singularidades:

ACCIDENTE	k
Contracción brusca.	1
Expansión brusca.	0'5
Codos a 45°.	0'19
Codos a 90°.	0'33
Válvula de compuerta.	0'3
Válvula de retención.	2

1.4.- PÉRDIDA EN ORIFICIOS

Se emplea la siguiente expresión:

$$Q = 0'62 \cdot S \sqrt{2gh}$$

En donde:

S: Sección transversal al flujo del orificio.

1.5.- PÉRDIDA EN VERTEDEROS TRIANGULARES

Se emplea la fórmula de Thompson:

$$h = \left(\frac{q_v}{1'42} \right)^{\frac{2}{5}}$$

En donde:

q_v : Caudal unitario por vértice.

1.6.- PÉRDIDA EN CANAL

Se emplea la fórmula de Manning-Strickler:

$$h = L \left(\frac{v}{k \cdot R_h^{\frac{2}{3}}} \right)^2$$

En donde:

L: Longitud del canal.

k: Coeficiente de rugosidad.

1.7.- CANAL CON VERTEDERO DE CAÍDA LIBRE

Un vertedero de caída libre descargando sobre un canal de recogida, da lugar a un régimen de flujo que no tiene una solución matemática exacta. En el supuesto de que la forma de la curva definida por la superficie de agua sea parabólica, la solución sería:

$$H = \left(h^2 + \frac{2q^2 x^2}{gb^2 h} \right)^{\frac{1}{2}}$$

En donde:

H: Profundidad del agua en el canal en el extremo aguas arriba del mismo (m).

h: Profundidad a la distancia "x" (m).

q: Caudal de descarga por unidad de longitud ($m^3/s/m$).

b: Anchura del canal (m).

g: Aceleración de la gravedad (m/s^2).

Para el cálculo de la altura máxima del agua ($H_{\text{máx.}}$), se supone que se alcanza régimen crítico en $x = 0$. La altura crítica " h_c " viene dada por la siguiente expresión:

$$h_c = \left(\frac{Q^2}{b^2 g} \right)^{\frac{1}{3}}$$

En donde:

Q: Caudal total en medio canal de descarga ($Q_{\text{máx-bio}}/2$) (m^3/s).

b: Anchura del canal (m).

g: Aceleración de la gravedad (m/s^2)

LINEA PIEZOMÉTRICA (CÁLCULOS)

	2005	2030	
- Caudal máximo en pretratamiento:	34,65	49,83	m^3/h
- Caudal máximo en biológico:	17,33	24,92	m^3/h
- Caudales con recirculación:	40,43	58,14	m^3/h
- Cota inicial de la lámina de agua:	339,991	340,000	m.

1.- REJA AUTOMÁTICA DE GRUESOS.

	2005	2030	
- Caudal:	34,65	49,83	m^3/h
- Cota antes del elemento:	339,991	340,000	m.
- Cálculo del coeficiente K1.			
* Sección de paso que subsiste al atascamiento:	70	70	%
* Valor del coeficiente:	1,43	1,43	
- Cálculo del coeficiente K2.			
* Forma de la sección de los barrotes:	RECTANGULAR		
* Valor del coeficiente:	1,00	1,00	
- Cálculo del coeficiente K3.			
* Espesor de barrotes:	10	10	mm.
* Separación de barrotes:	40	40	mm.
* Coeficiente "sección de paso":	0,80	0,80	

* Valor del coeficiente:	0,42	0,42	
- Valor de K (K1· K2· K3) :	0,60	0,60	
- Velocidad de acercamiento (del dimensionamiento):	0,30	0,30	m/s
- Pérdida de carga:	0,003	0,003	m.c.a.
- Cota después del elemento:	339,988	339,997	m.

2.- REJA AUTOMÁTICA DE FINOS.

	2005	2030	
- Caudal:	34,65	49,83	m³/h
- Cota antes del elemento:	339,988	339,997	m.
- Cálculo del coeficiente K1.			
* Sección de paso que subsiste al atascamiento:	70	70	%
* Valor del coeficiente:	1,43	1,43	
- Cálculo del coeficiente K2.			
* Forma de la sección de los barrotes:	RECTANGULAR		
* Valor del coeficiente:	1,00	1,00	
- Cálculo del coeficiente K3.			
* Espesor de barrotes:	3	3	mm.
* Separación de barrotes:	3	3	mm.
* Coeficiente "sección de paso":	0,50	0,50	
* Valor del coeficiente:	4,00	4,00	
- Valor de K (K1· K2· K3) :	5,71	5,71	
- Velocidad de acercamiento (del dimensionamiento):	0,30	0,30	m/s
- Pérdida de carga:	0,026	0,026	m.c.a.
- Cota después del elemento:	339,962	339,971	m.

3.- VERTEDERO DE SALIDA DEL DESBASTE.

	2005	2030	
- Caudal:	34,65	49,83	m³/h
- Cota antes del elemento:	339,962	339,971	m.
- Altura de lámina sobre vertedero.			
* Longitud de vertedero:	0,85	0,85	m.
* Altura de lámina sobre vertedero:	0,034	0,044	m.
- Cota del vertedero:	339,927	339,927	m.
- Resguardo:	0,42	0,15	m.
- Pérdida de carga:	0,454	0,194	m.c.a.
- Cota después del elemento:	339,508	339,777	m.

4.- CONDUCCIÓN DESBASTE - MEDIDOR DE CAUDAL.

	2005	2030	
- Caudal:	34,65	49,83	m³/h
- Cota antes del elemento:	339,508	339,777	m.
- Tubería.			
* Número de líneas:	1	1	línea.
* Diámetro:	101,6	101,6	mm.
* Sección:	0,008	0,008	m²
* Longitud:	2,00	2,00	m.
* Velocidad en la sección:	1,19	1,71	m/s
* Rugosidad de la tubería:	0,01	0,01	
* Pérdida unitaria por rozamiento:	0,0133	0,0257	m/ml
* Velocidad según Colebrook:	1,19	1,71	m/s
* Pérdida total por rozamiento:	0,027	0,051	m.c.a.
- Pérdidas localizadas.			

Ud.	Ki
Contracción brusca	1,00
Expansión brusca	0,00
Codos a 45 °	0,00
Codos a 90°	0,00
Válv. Mariposa	0,00
Válv. compuerta	0,30
Válv. retención	0,00
TOTAL	1,30

* Pérdida total por elementos singulares:	0,093	0,193	m.c.a.
- Cota después del elemento:	339,388	339,532	m.

5.- MEDIDOR DE CAUDAL ELECTROMAGNÉTICO.

	2005	2030	
- Caudal:	34,65	49,83	m³/h
- Cota antes del elemento:	339,388	339,532	m.
- Pérdida de carga (según espec. fabricante):	0,056	0,116	m.c.a.
- Cota después del elemento:	339,332	339,416	m.

6.- CONDUCCIÓN MEDIDOR - ARQUETA ENTRADA A BIOLÓGICO.

	2005	2030	
- Caudal:	34,65	49,83	m³/h
- Cota antes del elemento:	339,332	339,416	m.

- Tubería.

* Número de líneas:	1	1	línea.
* Diámetro:	101,6	101,6	mm.
* Sección:	0,008	0,008	m ²
* Longitud:	1,50	1,50	m.
* Velocidad en la sección:	1,19	1,71	m/s
* Rugosidad de la tubería:	0,01	0,01	
* Pérdida unitaria por rozamiento:	0,0133	0,0257	m/ml
* Velocidad según Colebrook:	1,19	1,71	m/s
* Pérdida total por rozamiento:	0,020	0,039	m.c.a.

- Pérdidas localizadas.

	Ud.	Ki
Contracción brusca	0,00	0,00
Expansión brusca	1,00	0,50
Codos a 45 °	0,00	0,00
Codos a 90°	0,00	0,00
Válv. Mariposa	0,00	0,00
Válv. compuerta	1,00	0,30
Válv. retención	0,00	0,00
TOTAL		0,80

* Pérdida total por elementos singulares:	0,057	0,119	m.c.a.
---	-------	-------	--------

- Cota después del elemento:	339,255	339,259	m.
------------------------------	---------	---------	----

7.- VERTEDERO DE ENTRADA A BIOLÓGICO.

	2005	2030	
- Caudal:	17,33	24,92	m³/h
- Cota antes del elemento:	339,255	339,259	m.
- Altura de lámina sobre vertedero.			
* Longitud total de vertedero:	1,30	1,30	m.
* Altura de lámina sobre vertedero:	0,016	0,021	m.
- Cota del vertedero:	339,238	339,238	m.
- Resguardo:	0,141	0,135	m.
- Pérdida de carga:	0,158	0,156	m.c.a.
- Cota después del elemento:	339,097	339,103	m.

8.- HUECO DE ENTRADA A REACTOR BIOLÓGICO (COMPUERTA).

	2005	2030	
- Caudal:	17,33	24,92	m³/h

- Cota antes del elemento:	339,097	339,103	m.
- Valor de K:	2,60	2,60	
- Velocidad de paso.			
* Número de huecos:	1	1	ud.
* Ancho del hueco:	0,20	0,20	m.
* Altura del hueco:	0,20	0,20	m.
* Sección de paso:	0,04	0,04	m²
* Velocidad de paso:	0,12	0,17	m/s
- Pérdida de carga:	0,002	0,004	m.c.a.
- Cota después del elemento:	339,095	339,099	m.

9.- REACTOR BIOLÓGICO

	2005	2030	
- Caudal:	40,43	58,14	m³/h
- Cota antes del elemento:	339,095	339,099	m.
- Pérdida de carga (estimada):	0,010	0,010	m.c.a.
- Cota después del elemento:	339,085	339,089	m.

10.- VERTEDERO DE SALIDA DEL BIOLÓGICO.

	2005	2030	
- Caudal:	40,43	58,14	m³/h
- Cota antes del elemento:	339,085	339,089	m.
- Altura de lámina sobre vertedero.			
* Longitud total de vertedero:	3,20	3,20	m.
* Altura de lámina sobre vertedero:	0,016	0,020	m.
- Cota del vertedero:	339,069	339,069	m.
- Resguardo:	0,35	0,15	m.
- Pérdida de carga:	0,365	0,170	m.c.a.
- Cota después del elemento:	338,719	338,919	m.

11.- CONDUCCIÓN REACTOR BIOLÓGICO - A DECANTADOR SECUNDARIO.

	2005	2030	
- Caudal:	40,43	58,14	m³/h
- Cota antes del elemento:	338,719	338,919	m.
- Tubería.			

* Número de líneas:	1	1	línea.
* Diámetro:	129,2	129,2	mm.
* Sección:	0,013	0,013	m ²
* Longitud:	19,25	19,25	m.
* Velocidad en la sección:	0,86	1,23	m/s
* Rugosidad de la tubería:	0,01	0,01	
* Pérdida unitaria por rozamiento:	0,0055	0,0106	m/ml
* Velocidad según Colebrook:	0,86	1,23	m/s
* Pérdida total por rozamiento:	0,107	0,204	m.c.a.

- Pérdidas localizadas.

	Ud.	Kl
Contracción brusca	1,00	1,00
Expansión brusca	0,00	0,00
Codos a 45 °	1,00	0,19
Codos a 90°	2,00	0,66
Válv. Mariposa	0,00	0,00
Válv. compuerta	0,00	0,00
Válv. retención	0,00	0,00
		2,51

* Pérdida total por elementos singulares: 0,094 0,194 m.c.a.

- Cota después del elemento: 338,519 338,521 m.

12.- HUECO DE ENTRADA A DECANTADOR SECUNDARIO (TORRETA).

	2005	2030	
- Caudal:	40,43	58,14	m ³ /h
- Cota antes del elemento:	338,519	338,521	m.
- Valor de K:	2,60	2,60	
- Velocidad de paso.			
* Número de huecos:	4	4	ud.
* Ancho del hueco:	0,25	0,25	m.
* Altura del hueco:	0,70	0,70	m.
* Sección de paso:	0,70	0,70	m ²
* Velocidad de paso:	0,02	0,02	m/s
- Pérdida de carga:	0,000	0,000	m.c.a.
- Cota después del elemento:	338,519	338,521	m.

13.- VERTEDEROS TRIANGULARES DE SALIDA DEL DECANTADOR SECUNDARIO.

	2005	2030	
- Caudal:	17,33	24,92	m ³ /h
- Cota antes del elemento:	338,519	338,521	m.

- Caudal unitario.			
* Número de decantadores:	1	1	ud.
* Diámetro decantador:	6,00	6,00	m.
* Longitud vertedero:	18,85	18,85	m.
* Separación entre vertederos triangulares:	0,15	0,15	m.
* Número de dientes:	126	126	ud.
* Caudal unitario:	0,14	0,20	m³/h
- Altura de lámina sobre vertedero.	0,015	0,017	m.
- Cotas fijas:			
* Inferior del vertedero triangular:	338,504	338,504	m.
* Margen hormigón - chapa:	0,050	0,050	m.
* Vertedero hormigón:	338,454	338,454	m.
- Resguardo (desde vértice inferior vertedero triangular):	0,16	0,15	m.
- Pérdida de carga:	0,172	0,163	m.c.a.
- Cota después del elemento:	338,347	338,358	m.

14.- CANAL DE RECOGIDA DEL DECANTADOR SECUNDARIO.

	2005	2030	
- Caudal:	17,33	24,92	m³/h
- Cota antes del elemento:	338,347	338,358	m.
- Configuración canal.			
* Ancho:	0,20	0,20	m.
* Altura del cajero de hormigón:	0,15	0,15	m.
* Cota solera canal:	338,30	338,30	m.
* Diámetro medio:	6,20	6,20	m.
* Longitud de canal (1/2 decantador):	9,74	9,74	m.
* Caudal en canal:	8,67	12,46	m³/h
- Calados:			
* Mínimo en canal (crítico):	0,025	0,031	m.
* Máximo en canal:	0,042	0,054	m.
- Cotas de láminas de agua:			
* En el inicio del canal:	338,347	338,358	m.
* Al final del canal:	338,329	338,335	m.
- Resguardo en salida:	0,11	0,11	m.
- Pérdida de carga:	0,127	0,135	m.c.a.
- Cota después del elemento:	338,219	338,223	m.

15.- VERTEDERO DE SALIDA.

	2005	2030	
- Caudal:	17,33	24,92	m³/h

- Cota antes del elemento:	338,219	338,223	m.
- Altura de lámina sobre vertedero.			
* Longitud total de vertedero:	1,50	1,50	m.
* Altura de lámina sobre vertedero:	0,015	0,019	m.
- Cota del vertedero de salida:	338,205	338,205	m.
- Resguardo:	0,20	0,20	m.
- Cota restitución:	338,005	338,005	

- Diferencia entre cota de entrada y cota restitución	1,986	1,995	m.
---	-------	-------	----

COLECTOR

1.- DESCRIPCIÓN DE LA TRAZA

1.1.- TRAZADO EN PLANTA

Existen en la actualidad un puntos de vertido en el municipio.

El trazado definitivo del tramo a ejecutar está condicionado al hecho de no realizar ninguna impulsión, para que el transporte del efluente resulte más económico.

Por último, cabe resaltar que han proyectado los pozos de resalto necesarios para evitar que la pendiente del colector no sobrepase el 10%.

1.2.- PERFILES LONGITUDINALES

Recogemos a continuación las principales características del tramo del colector que une el punto de vertido actual con la E.D.A.R.

- Longitud del tramo. 101,86 m.
- Diámetro. 400 mm.
- Pendientes:
Máxima. 3,63%
Mínima. 0'36%
- Material. P.V.C. de pared alveolar.

En el inicio del colector se ha proyectado un aliviadero para el vertido directo de las aguas pluviales de exceso.

Por último el vertido de agua tratada, se realiza a través de un colector de las siguientes características:

- Longitud del tramo. 56 m.
- Diámetro. 180 mm.
- Material. P.E.A.D.; PN-6.

2.- CÁLCULOS HIDRÁULICOS

2.1.- VELOCIDADES.

Es preciso establecer una limitación superior e inferior a las velocidades de circulación de las aguas por los colectores, en orden a conseguir un mejor funcionamiento del sistema, así como, procurar alargar su vida útil.

Velocidades máximas.

La limitación de la velocidad de circulación del agua viene determinada por la erosión que puedan causar las altas velocidades.

La erosión es producida, principalmente, por las arenas u otros sólidos minerales que son transportados por las aguas, especialmente cuando éstas circulan a velocidades elevadas.

Las aguas residuales no deberán, con carácter general, fluir a través de los conductos a velocidades superiores a 2'5 m/s para el máximo caudal, por lo que los distintos tramos han sido proyectados con pendientes que nos garanticen velocidades inferiores a éste.

Las pluviales, por su carácter ocasional, pueden alcanzar velocidades superiores, aunque sin traspasar el límite de 6 m/s a sección llena.

Velocidades mínimas.

La adopción de velocidades mínimas viene determinada por la necesidad de evitar la sedimentación de los sólidos que transportan las aguas residuales y pluviales. Se deben proyectar los colectores de forma que sean autolimpiantes.

Los valores de las velocidades mínimas de circulación son función del tipo de red de que se trate.

Para redes unitarias, las aguas residuales no deben circular a velocidades menores de 0'3 m/s.

2.2.- DIMENSIONAMIENTO DE LAS CONDUCCIONES

Para el dimensionamiento de las conducciones se va a emplear la conocida fórmula de Manning, cuya expresión es:

$$v = K \cdot R^{1/3} \cdot i^{1/2}$$

Siendo:

K = Coeficiente que depende del material.

R = Radio hidráulico.

i = Pendiente.

El valor de "K" adoptado para tuberías de polietileno es de 100.

Conocidos los caudales para los distintos tramos en gravedad y establecidas las pendientes por la topografía del terreno, se obtiene en hoja de cálculo, empleando la fórmula anterior:

- Caudal para los distintos regímenes de caudal.
- Velocidad para los distintos regímenes de caudal.

Por razones de mantenimiento, el diámetro mínimo adoptado en los conductos ha sido de 400 mm.

Adjuntamos, al final del presente Anejo, el cálculo obtenido para el tramo, habiendo resultado un diámetro de 400 mm.

**COLECTORES PARA LA
E.D.A.R.**

**Colector unión hasta
E.D.A.R.**

	D (mm.)	h (mm.)		i (m/m)	A(m²)	Rh (m.)	v (m./s.)	Q (l./s.)	Q (m³/h.)
Cap. máx. colec.	379	356		0,00360	0,110	0,110	1,38	151,333	544,80
Qmáx. futuro	379	46		0,03600	0,008	0,029	1,78	13,842	49,83
	379	80		0,00360	0,017	0,048	0,79	13,842	49,83
Medio resid. actual	379	18		0,03600	0,002	0,012	0,98	1,911	6,88
	379	31		0,00360	0,004	0,020	0,44	1,911	6,88
h = 0,1 · D	379	38		0,00360	0,006	0,024	0,50	2,953	10,63

**Colector salida
E.D.A.R.**

	D (mm.)	h (mm.)		i (m/m)	A(m²)	Rh (m.)	v (m./s.)	Q (l./s.)	Q (m³/h.)
Máxima capacidad	158	148		0,02800	0,019	0,046	2,14	40,933	147,36