

# **MEMORIA DE CÁLCULO**

# MEMORIA DE CÁLCULO

## 1. Descripción de la instalación.

El inicio de la instalación es la arqueta de llegada, donde se recogen todos los efluentes de la población de San Vicente del Monte. A continuación se disponen las diferentes unidades del pretratamiento:

- Canal de desbaste: se instalarán dos unidades por motivos de limpieza y mantenimiento, pero no funcionarán simultáneamente.
- Medidor de caudal: canal medidor de flujo tipo Parshall.

A la salida del pretratamiento le siguen las siguientes unidades:

- Fosa de alta velocidad
- Escaleras de oxigenación
- Arqueta de reparto
- Batería de Drenes de Aireación Forzada en paralelo divididos en tres tramos.
- Arqueta final con equipo de cloración en línea.

## 2. Datos iniciales, características del agua bruta (influyente).

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)	VALOR MÁXIMO (VERANO)
Habitantes equivalentes (heq)	160	200
Dotación (l/heq/día)	250	250
Caudal medio (m <sup>3</sup> /día)	40	50
Dotación DBO <sub>5</sub> (gr DBO <sub>5</sub> /Hab.eq/d)	60	60
Concentración DQO (mg/l)	400	400
Concentración SST (mg/l)	450	450
(*)Concentración N (mg/l)	40	40
(*)Concentración P (mg/l)	10	10
Temperatura del agua °C	15	23

Tabla 1. Datos de partida

(\*) Los datos de concentración de nitrógeno y de fósforo en el agua residual no se tendrán en cuenta a la hora de los cálculos ya que las aguas no van a ser reutilizadas y la zona de vertido no está catalogada como zona sensible.

A partir de estos datos, se hallan el resto de datos iniciales que es necesario conocer para realizar los cálculos del diseño de la instalación.

Además del caudal medio, a partir del cual se hacen los cálculos de diseño, se tienen en cuenta los caudales punta y máximo para ver cómo se comporta cada una de las partes en caso de tener dichas condiciones. Para obtener dichos caudales se usan las fórmulas siguientes:

$$Q_{punta} = 1,5 \cdot Q_{medio}$$

$$Q_{máximo} = 2 \cdot Q_{punta}$$

Los coeficientes empleados para el cálculo de los caudales punta y máximo son los valores recomendados para pequeñas aglomeraciones urbanas.

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)	VALOR MÁXIMO (VERANO)
Caudal medio (m3/día)	40	50
Caudal punta (m3/día)	60	75
Caudal máximo (m3/día)	120	150

Tabla 2. Valores recomendados para pequeñas aglomeraciones urbanas

Las formulas que se muestran a continuación sirven para calcular las concentraciones de DBO<sub>5</sub> y DQO:

$$DBO_5 \left[ \frac{mg}{l} \right] = \frac{Dotación\ DBO_5 \left[ \frac{g}{hab \cdot d} \right] \cdot \left[ \frac{1kg}{10^3g} \right] \cdot n^o\ habitantes}{Q_{medio} \left[ \frac{m^3}{d} \right] \cdot \left[ \frac{10^3l}{1m^3} \right]}$$

$$DQO \left[ \frac{mg}{l} \right] = \frac{DBO_5 \left[ \frac{mg}{l} \right]}{0,6}$$

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)	VALOR MÁXIMO (VERANO)
Concentración DBO <sub>5</sub> (mg/l)	240	240
Concentración DQO (mg/l)	400	400

Tabla 3. Concentraciones de DBO<sub>5</sub> y DQO

### 3. Características del agua tratada (efluente).

Según el RD 509.1996 el agua tratada debe salir con unas características mínimas, los parámetros a controlar son los siguientes:

PARÁMETRO	VALOR
Concentración DBO <sub>5</sub> (mg/l)	25
Concentración DQO (mg/l)	125
Concentración SST (mg/l)	35
(*)Concentración N (mg/l)	15
(*)Concentración P (mg/l)	2

Tabla 4. Valores que debe tener el agua residual tras ser tratada en la EDAR/RD 509.1996

### 4. Obra de llegada.

Para calcular las dimensiones de la arqueta de llegada debemos suponer los valores para los siguientes parámetros:

PARÁMETRO	VALOR
Tiempo residencia hidráulico a Caudal máx	1,5
Carga hidráulica (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h)	20

Tabla 5. Datos iniciales para dimensionamiento obra de llegada

- Capacidad necesaria:

$$V_{arqueta} = TRH[h] \cdot Q_{máx} \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

$$V_{invierno} = 1,5 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot 120 \frac{m^3}{d} \cdot \frac{1 d}{24 h} = 0,125 \text{ m}^3$$

$$V_{verano} = 1,5 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot 150 \frac{m^3}{d} \cdot \frac{1 d}{24 h} = 0,156 \text{ m}^3$$

- Superficie de la arqueta:

$$Superficie = \frac{Q_{máx} \left[ \frac{m^3}{h} \right]}{C_H \left[ \frac{m^3}{m^2 \cdot h} \right]}$$

$$Superficie_{invierno} = \frac{120 \frac{m^3}{d} \cdot \frac{1d}{24h}}{20 \frac{m^3}{m^2 \cdot h}} = 0,25m^2$$

$$Superficie_{verano} = \frac{150 \frac{m^3}{d} \cdot \frac{1d}{24h}}{20 \frac{m^3}{m^2 \cdot h}} = 0,31m^2$$

- Dimensiones:

Para calcular las tres dimensiones que va a tener la arqueta hay que elegir una de ellas o establecer la relación largo/ancho. En este caso se ha tomado como que el ancho mínimo que debe tener la arqueta es 0,5 m.

$$L = \frac{superficie[m^2]}{A[m]}; \quad h = \frac{Volumen_{arqueta}[m^3]}{Superficie[m^2]}$$

• Invierno:

$$L = \frac{0,25m^2}{0,5m} = 0,50m; \quad h = \frac{0,125m^3}{0,25m^2} = 0,50m$$

• Verano:

$$L = \frac{0,31m^2}{0,5m} = 0,62m; \quad h = \frac{0,156m^3}{0,31m^2} = 0,50m$$

Las dimensiones calculadas son demasiado pequeñas, por lo que se adoptarán los siguientes valores para el diseño de la arqueta:

- Largo:  $L = 1m$
- Ancho:  $A = 1m$
- Profundidad:  $h = 1m$

- Capacidad real:

$$V_{arqueta} = L[m] \cdot A[m] \cdot h[m] = 1m^3$$

- Tiempo residencia hidráulico real a caudal máximo:

$$TRH[h] = \frac{V_{arqueta}[m^3]}{Q_{máx} \left[ \frac{m^3}{h} \right]}$$

$$TRH[h]_{invierno} = \frac{1 \text{ m}^3}{120 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \cdot \frac{1\text{d}}{24\text{h}}} = 0,20 \text{ h} \cdot \frac{60\text{min}}{1\text{h}} = 12 \text{ min}$$

$$TRH[h]_{verano} = \frac{1 \text{ m}^3}{150 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \cdot \frac{1\text{d}}{24\text{h}}} = 0,16 \text{ h} \cdot \frac{60\text{min}}{1\text{h}} = 9,60 \text{ min}$$

- Tiempo residencia hidráulico real a caudal medio:

$$TRH[h] = \frac{V_{arqueta} [\text{m}^3]}{Q_m \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]}$$

$$TRH[h]_{invierno} = \frac{1 \text{ m}^3}{40 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \cdot \frac{1\text{d}}{24\text{h}}} = 0,60 \text{ h} \cdot \frac{60\text{min}}{1\text{h}} = 36 \text{ min}$$

$$TRH[h]_{verano} = \frac{1 \text{ m}^3}{50 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \cdot \frac{1\text{d}}{24\text{h}}} = 0,48 \text{ h} \cdot \frac{60\text{min}}{1\text{h}} = 28,80 \text{ min}$$

Al ser la capacidad real superior a la necesaria, el TRH real es superior al adoptado para realizar los cálculos iniciales. Esto no supone ningún problema, simplemente habrá que prestar un poco más de atención a la limpieza de la arqueta por las posibles decantaciones que tengan lugar debido a este aumento.

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)	VALOR MÁXIMO (VERANO)
Longitud (m)	1	1
Ancho (m)	1	1
Profundidad (m)	1	1

Tabla 6. Dimensiones arqueta de la obra de llegada

## 5. Pretratamiento

### 5.1. Desbaste

El proceso de desbaste del pretratamiento se llevará a cabo en un canal rectangular con dos rejjas, instaladas una a continuación de la otra, de finos y “muy finos” respectivamente. El tipo de reja será vertical inclinada y, por motivos económicos, de limpieza manual. La primera tendrá un ancho de barrote de 10 mm y una luz de 15 mm; y la segunda, un ancho de barrote de 3 mm y una luz de 6 mm.

Las principales características a tener en cuenta al instalar este tipo de rejjas es que su longitud no debe exceder de la que permita su correcta limpieza (3 metros aprox.). Los barros no suelen exceder los 10 mm de anchura por 50 mm de profundidad. En la parte superior de la reja, deberá colocarse una placa o cesta perforada para que los objetos extraídos se puedan almacenar temporalmente para su drenaje.

Se proyectan dos canales, de los cuales sólo una unidad estará en funcionamiento, reservando la otra para cuando sea necesario realizar labores de mantenimiento y limpieza.

Se debe evitar la acumulación de arenas y demás materias pesadas, tanto antes como después de la reja. Para ello habrá que prestar especial atención a la pendiente y a la velocidad de aproximación del agua al canal. La pendiente deberá ser horizontal o descendiente en la dirección de circulación a través de la reja, sin baches o imperfecciones en las que puedan quedar atrapados algunos sólidos. En cuanto a la velocidad de aproximación, se recomienda que sea superior a 0,4 m/s a caudal medio. También tendrá que tener en cuenta que la velocidad de paso no supere los 0,9 m/s a caudal punta para evitar el arrastre de basuras a través de las rejjas.

Además de las rejjas, se instalarán en el canal dos compuertas, aguas arriba y abajo del mismo, de modo que permita dejar la unidad en seco.

Se debe asegurar una altura de la lámina de agua a Q medio de 0,10 metros. Debido a que, como se demuestra a continuación es necesario un sobredimensionamiento del canal de desbaste se va a construir un escalón a 1,50 metros después de la segunda reja de 0,10 metros de altura, para cumplir con dicha condición.

El ancho del canal se dimensiona a partir de la siguiente ecuación, tomando la velocidad de aproximación como 0,4 m/s y la altura de la lámina de agua a caudal medio como 0,1 m, valores mínimos para asegurar las condiciones antes mencionadas:

$$\text{Ancho}[m] = \frac{Q_{msd} \left[ \frac{m^3}{h} \right]}{n^{\circ} \text{canales} \cdot v_{\text{aproximación}} \left[ \frac{m}{s} \right] \cdot \text{altura lámina agua } Q_{msd} [m] \cdot 3600}$$

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)	VALOR MÁXIMO (VERANO)
Ancho canal (m)	0,012	0,014

Tabla 7. Resultados teóricos para ancho de canal.

Los resultados no son viables para llevar a la práctica debido los valores tan pequeños que se han obtenido. Se dimensiona el canal para un ancho de 0,3 metros que es el mínimo para poder instalar una reja estándar.-

Definido el ancho definitivo que va a tener el canal de desbaste hay que ver cómo se comporta para los caudales definidos en el proyecto. Para ello se necesita definir una serie de parámetros.

- Ancho útil:

$$A_u = A \cdot \frac{E}{E + e} \cdot c$$

Donde:

Au = Ancho útil del canal de reja de finos/gruesos (m)

A = Ancho del canal (m)

E = Distancia entre barrotes (mm)

e = Espesor de barrotes (mm)

c = Coeficiente de atascamiento (\*)

\*(Suele calcularse para un 30% de colmatación, por lo que c=0,7)

PARÁMETRO	REJA DE FINOS	REJA DE MUY FINOS
A <sub>u</sub> (m)	0,126	0,140

Tabla 8. Ancho útil para cada una de las rejillas del desbaste.

- Velocidad de paso con el 30% de la reja colmatada:

$$v_p = \frac{Q_{max}}{n^{\circ} \cdot h \cdot A_u} \cdot \frac{E + e}{E} \cdot \frac{1}{c}$$



Donde:

$v_p$  = velocidad de paso con el 30% de la reja colmatada (m/s)

$Q_{max}$  = Caudal máximo (m<sup>3</sup>/s)

$n^0$  = número de canales en funcionamiento

$h$  = altura de la lámina de agua (m)

$A_u$  = Ancho útil del canal de reja de finos/gruesos (m)

$E$  = Distancia entre barrotes (mm)

$e$  = Espesor de barrotes (mm)

$c$  = Coeficiente de atascamiento (\*)

\*(Suele calcularse para un 30% de colmatación, por lo que  $c=0,7$ )

PARÁMETRO	REJA DE FINOS		REJA DE MUY FINOS	
	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)	VALOR MÁXIMO (VERANO)	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)	VALOR MÁXIMO (VERANO)
$v_p$ (m/s)	0,263	0,331	0,213	0,268

Tabla 9. Velocidades de paso a través de las rejillas de desbaste.

Se observa que, para caudal máximo (situación más restrictiva), la velocidad de paso con un 30 % de colmatación no supera los 0,9 m/s, condición para evitar arrastre de basuras.

- Calado máximo:

$$C = \frac{Q_{max}}{n^0 \cdot A_u \cdot v_p} + h_e$$

Donde:

$C$  = calado máximo

$Q_{max}$  = Caudal de paso por el canal (m<sup>3</sup>/s)

$n^0$  = número de canales en funcionamiento

$A_u$  = Ancho útil del canal de reja de finos/gruesos (m)

$v_p$  = velocidad de paso con el 30% de la reja colmatada (m/s)

$h_e$  = altura escalón construido antes de cada reja = 0,1 m

PARÁMETRO	REJA DE FINOS	REJA DE MUY FINOS
$C$ (m)	0,142	0,147

Tabla 10. Calado máximo en cada una de las rejillas de desbaste.

- Velocidad de acercamiento:

$$v = \frac{Q}{n^0 \cdot A_u \cdot h}$$

Donde:

$v$  = Velocidad de acercamiento (m/s)

$Q$  = Caudal de paso por el canal (m<sup>3</sup>/s)

$A_u$  = Ancho útil de canal (m)

$h$  = Altura de la lámina de agua (m)

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	$Q_{med}$	$Q_{punta}$	$Q_{max}$	$Q_{med}$	$Q_{punta}$	$Q_{max}$
$v$ (m/s)	$4,64 \cdot 10^{-4}$	$6,94 \cdot 10^{-4}$	$1,39 \cdot 10^{-3}$	$5,78 \cdot 10^{-4}$	$8,69 \cdot 10^{-4}$	$1,75 \cdot 10^{-3}$

Tabla 11. Velocidades de acercamiento en función de los distintos caudales.

Como podemos observar las velocidades de acercamiento son inferiores a 0,4 m/s, por lo que en el canal tendrán lugar sedimentaciones de materia orgánica junto a las arenas, y por ello será necesario tratar los residuos que obtengamos como tal.

#### 5.1.1. Dimensionamiento.

Los canales de desbaste son de sección transversal rectangular. Habiendo quedado definido anteriormente el ancho del mismo, 0,3 metros, sólo queda calcular su profundidad y longitud.

La profundidad del canal de desbaste se dimensiona teniendo en cuenta el calado máximo, de la situación más restrictiva calculada anteriormente y un resguardo del que de prevéseles que oscila entre 0,3 y 0,5 metros. De éste modo la profundidad será de 0,6 metros.

Para calcular la longitud, se ha considerado que debe haber una zona de tranquilización delante y detrás de cada reja de 2 metros. Además habrá que contar con el ancho de las compuertas, que es de 0,25 metros cada una. De modo que la longitud total del canal será de 6,50 metros.

Conociendo la profundidad del canal (0,6 metros) y el ángulo de inclinación de las rejas, 60°, se realiza el cálculo de la longitud recta de cada reja:

$$l = h / \sin \alpha$$

Siendo:

$l$ : longitud de las rejas rectas, m

$h$ : profundidad del canal, m

$\alpha$ : ángulo de inclinación de las rejas, °

La longitud recta de las rejas será de 0,70 m y la longitud del canal ocupada por las rejas, 0,35 m.

El volumen final de esta unidad será de 1,17 m<sup>3</sup>.

El TRH real será:

$$TRH = \frac{V}{Q}$$

Siendo:

TRH: tiempo de residencia hidráulico real, h

V: volumen del canal, m<sup>3</sup>

Q: caudal de paso, m<sup>3</sup>/h

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>
TRH (h)	2	3	6	2,5	3,75	7,57

Tabla 12. TRH real en el canal de desbaste en función de los diferentes caudales.

Al igual que el dato de la velocidad de acercamiento, el TRH real nos indica que además del desbaste, tendrán lugar sedimentaciones de arenas y materia orgánica. Habrá que contratar los servicios de un gestor de residuos, para tratar los residuos obtenidos.

## 5.2. Desarenado y desengrasado

El diseño inicial de este proyecto contaba con dos canales de desarenado/desengrasado, siendo uno de ellos reserva del otro por motivos de limpieza y mantenimiento.

Sin embargo, tras unos cálculos iniciales, que se reflejan a continuación a modo de justificación, se ha decidido sustituir esta unidad de pretratamiento.

El primer cálculo que ha de realizarse es el del volumen del canal. Para ello, hay que tener en cuenta el TRH. Éste es un valor indicativo que debe oscilar entre los 2 y 5 minutos para el Q máximo. Debido a los bajos caudales a tratar con los que cuenta el presente proyecto, se elige un TRH igual a 5 minutos:

$$V = \frac{Q_{máx} \cdot TRH}{n^{\circ} \cdot 60}$$

Siendo:

V: volumen del canal, m<sup>3</sup>

Q<sub>máx</sub>: caudales máximos, m<sup>3</sup>/h

TRH: tiempo de residencia hidráulico, min

n<sup>o</sup>: número de canales en funcionamiento

Los volúmenes obtenidos son:

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)	VALOR MÁXIMO (VERANO)
Volumen canal (m <sup>3</sup> )	0,42	0,53

Tabla 13. Volúmenes teóricos para el dimensionamiento del canal desarenador.

Como en el resto de unidades, nos encontramos con el problema de que las dimensiones obtenidas son mínimas, por lo que para poder llevar a cabo su construcción habrá que sobredimensionar el canal. Aunque en este caso el sobredimensionado aumenta el TRH hasta valores en los que esta unidad de tratamiento pierde su rendimiento. Su función de desarenado pasaría a ser decantadora, y la cantidad de materia orgánica decantada junto con las arenas resultaría excesiva para los objetivos.

Por lo argumentado en el párrafo anterior se decide suprimir esta unidad, pasando directamente del desbaste a la fosa. De modo que también se suprime la función de desengrasado las grasas se acumularán en la parte superior de la misma. Las grasas actuarán como una cubierta natural que impide el paso del oxígeno favoreciendo las condiciones anaerobias sin graves consecuencias. El depósito de arenas tendrá lugar en la unidad anterior, el desbaste, como ya se ha comentado y en la unidad posterior, la fosa de alta velocidad. Este sedimento en la fosa tendrá lugar en la base de la misma, también debido a los tiempos de retención con los que trabajamos, ocasionando como desventaja la disminución de volumen útil con el tiempo por acumulación de arenas y grasas. No siendo un problema en el caso de este proyecto debido a que se ha sobredimensionado.

### 5.3. Medidor de caudal

A la salida del canal de desbaste, se instalará una unidad de medición de caudal tipo Parshal, de un ancho de garganta de 1”.

## 6. Fosa de alta velocidad

El diseño de la fosa de alta velocidad está basado en las lagunas anaerobias.

El tiempo de residencia hidráulico (TRH) se debe establecer entre 0,7 y 1,4 días, pues así obtenemos un rendimiento notable en la eliminación de DBO. Sin embargo, en este caso se ha tomado un TRH igual a 2 días, para aumentar el rendimiento de la eliminación de sólidos en suspensión (SST), que pasaría a ser de un mínimo de 75%.

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)	VALOR MÁXIMO (VERANO)
Caudal medio (m <sup>3</sup> /día)	40	50
DBO <sub>5</sub> entrada (mg/l)	240	240
DQO entrada (mg/l)	400	400
SST entrada (mg/l)	450	450
Temperatura °C	15	23
TRH <sub>diseño</sub> (días)	2	2
Relación largo/ancho	3	3

Tabla 14. Datos de partida para el dimensionamiento de la fosa de alta velocidad.

Lo primero que se ha de calcular es el volumen que ha de tener la fosa:

$$V_{\text{unitario}}[\text{m}^3] = Q_{\text{med}} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right] \cdot \text{TRH}_{\text{diseño}}[\text{d}]$$

- $V_{\text{unitario}}(\text{invierno}) = 80 \text{ m}^3$
- $V_{\text{unitario}}(\text{verano}) = 100 \text{ m}^3$

Para que se cumpla siempre el TRH establecido se toma como  $V_{\text{diseño}} 100 \text{ m}^3$ . A continuación se dimensiona la fosa:

- La profundidad (h) debe estar entre 1,5 y 3 metros. Se adopta el máximo ya que así las otras dos dimensiones serán más reducidas, y se necesitará menos espacio de terreno para la construcción.
- La relación largo ancho (l/a) debe ser igual a 3.

$$\text{Superficie}_{\text{Horizontal}}[\text{m}^2] = \frac{V_{\text{diseño}}[\text{m}^3]}{h[\text{m}]} = \frac{100 \text{ m}^3}{3 \text{ m}} = 33,33 \text{ m}^2$$

$$a[\text{m}] = \sqrt{\frac{\text{Superficie}_{\text{Horizontal}}[\text{m}^2]}{l/a}} = \sqrt{\frac{33,33 \text{ m}^2}{3}} = 3,33 \text{ m}$$

$$l = \frac{\text{Superficie}_{\text{Horizontal}}[\text{m}^2]}{a[\text{m}]} = \frac{33,33 \text{ m}^2}{3,33 \text{ m}} = 10 \text{ m}$$

Por lo que las dimensiones adoptadas son las siguientes:

PARÁMETRO	VALOR
Profundidad (m)	3
Ancho (m)	3,3
Largo (m)	10
Volumen (m <sup>3</sup> )	99

Tabla 15. Dimensiones de la fosa adoptadas.

Una vez conocido el volumen real hay que hacer dos comprobaciones:

- Que el  $TRH_{real}$  se cumpla, por lo menos, en caso de tener  $Q_{med}$ , aunque se estudian todos los casos.
- Que no se supere la carga volumétrica máxima admisible.

Para calcular el  $TRH_{real}$ , se despeja el TRH de la siguiente ecuación:

$$TRH_{real}[d] = \frac{V_{real}[m^3]}{Q_{med} \left[ \frac{m^3}{d} \right]}$$

Los resultados para los diferentes caudales se reflejan en la siguiente tabla:

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	$Q_{med}$	$Q_{punta}$	$Q_{máx}$	$Q_{med}$	$Q_{punta}$	$Q_{máx}$
$TRH_{real}(d)$	2,48	1,65	0,83	1,98	1,32	0,66

Tabla 16. TRH resultante en función de los distintos caudales.

Se observa que, excepto para el caso más desfavorable posible  $Q_{máx}$  en verano, todos los TRH obtenidos están dentro del margen establecido al principio (o lo superan).

La carga volumétrica  $DBO_5$  a la que trabajará la fosa se calcula a partir de la siguiente ecuación, en función del caudal:

$$Carga\ volumétrica\ DBO_5 \left[ \frac{mg\ DBO_5}{l \cdot d} \right] = \frac{DBO_5 \left[ \frac{mg}{l} \right] \cdot Q \left[ \frac{m^3}{d} \right]}{V_{real}[m^3]}$$

Los resultados para los diferentes caudales se reflejan en la siguiente tabla:

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	$Q_{med}$	$Q_{punta}$	$Q_{máx}$	$Q_{med}$	$Q_{punta}$	$Q_{máx}$
Carga volumétrica de trabajo (mg $DBO_5$ /l día)	96,97	145,45	290,91	121,21	181,82	363,64

Tabla 17. Carga volumétrica de trabajo resultante en función de los distintos caudales.

Ahora debemos corroborar que estas cargas volumétricas cumplen los estándares legales. Para ello se plantean cuatro situaciones diferentes, dependiendo de la temperatura, factor determinante en la actividad biológica que se da en estas lagunas.

Condición	Carga Volumétrica Máxima Admisible (mg DBO <sub>5</sub> /l·día)	Porcentaje de eliminación DBO <sub>5</sub> (%)
Para $T < 10^{\circ}\text{C}$	100	40
Para $10^{\circ}\text{C} < T < 20^{\circ}\text{C}$	$20 \cdot T - 100$	$2 \cdot T + 20$
Para $20^{\circ}\text{C} < T < 25^{\circ}\text{C}$	$10 \cdot T + 100$	$2 \cdot T + 20$
Para $T > 25^{\circ}\text{C}$	350	70

Tabla 18. Cargas y rendimientos para lagunas anaerobias según temperatura

Según los datos iniciales, las cargas volumétricas máximas admisibles serán las siguientes:

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)	VALOR MÁXIMO (VERANO)
Carga volumétrica máxima admisible (mg DBO <sub>5</sub> /l día)	200	330

Tabla 19. Carga máxima admisible en función de la temperatura.

Podemos comprobar que menos en la situación más restrictiva, para  $Q_{\text{máx}}$ , las lagunas trabajan con cargas volumétricas de materia orgánica que están por debajo del máximo admisible. Y se observa que el aumento de temperatura favorece las condiciones ambientales necesarias para que la actividad biológica de las bacterias sea mayor y más eficiente. Trabajando holgadamente por debajo de los valores de carga volumétrica máxima en materia orgánica al que deberían trabajar las lagunas anaerobias.

Tal y como indica la tabla 18, según las temperaturas de los datos iniciales, los rendimientos obtenidos con respecto a la eliminación de materia orgánica, DBO<sub>5</sub> serán los siguientes:

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)	VALOR MÁXIMO (VERANO)
Porcentaje de eliminación DBO <sub>5</sub> (%)	50	66

Tabla 20. Valores de rendimiento eliminación DBO<sub>5</sub>.

Por lo que, la cantidad de materia orgánica a la salida de la fosa de alta velocidad serán las siguientes:

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)	VALOR MÁXIMO (VERANO)
DBO <sub>5</sub> entrada (mg/l)	240	240
DBO <sub>5</sub> eliminada (mg/l)	120	158,4
DBO <sub>5</sub> salida (mg/l)	120	81,6

Tabla 21. Valores evolución de concentración de DBO<sub>5</sub> en la fosa.

La eliminación de DQO se calcula con el mismo rendimiento que el de eliminación de DBO<sub>5</sub>, debido a que ambos se deben a la eliminación de materia orgánica y no se añade ningún producto químico a lo largo del tratamiento.

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)	VALOR MÁXIMO (VERANO)
DQO entrada (mg/l)	400	400
DQO eliminada (mg/l)	200	264
DQO salida (mg/l)	200	136

Tabla 22. Valores evolución de concentración de DQO en la fosa.

En cuanto al rendimiento de las lagunas anaerobias en la eliminación de sólidos en suspensión, es amplia la bibliografía que les asegura un rendimiento de al menos el 65%, que comentábamos al principio, al aumentar el TRH, aumenta hasta al menos un 75%. (Pozo, L.; 2010).

Por tanto, los datos de eliminación y salida de SST son los siguientes:

PARÁMETRO	VALOR
SST entrada (mg/l)	450
SST eliminada (mg/l)	337,5
SST salida (mg/l)	112,5

Tabla 23. Valores evolución de concentración de SST en la fosa.

Los datos de rendimientos son algo conservadores, pues se sitúan siempre en las situaciones más desfavorables posibles.

## 7. Escaleras de oxigenación.

El Sistema Escalonado de Tratamiento de Aguas Residuales (SETAR) consiste en un conjunto de cajones dispuestos en serie de forma escalonada y acorde a la pendiente del terreno.

El estudio sobre la eliminación de cargas contaminantes se basa en el modelo de humedales artificiales, y el diseño se toma el que ha experimentado Alessandro Hernández Lizarraga para su proyecto fin de máster.

Se trata de una escalera de 60 escalones, en la que cada uno tiene las siguientes dimensiones:

- Largo: 1 m
- Ancho: 0,5 m
- Profundidad: 0,5 m

Los escalones se rellenan con piedras de diferentes tamaños y porosidades:

- Piedra 200 mm: porosidad 72,99
- Piedra 125 mm: porosidad 62,21



- Piedra 50 mm: porosidad 51,46

Se calcula el promedio de las distintas porosidades y el valor resultante (porosidad 62,22) será el valor de porosidad empleado para los cálculos que se exponen a continuación.

El volumen total de la escalera se calcula mediante la siguiente expresión:

$$V = n^{\circ} \cdot L \cdot a \cdot y \cdot \frac{n}{100}$$

Donde:

V = volumen total SETAR, m<sup>3</sup>

n<sup>o</sup> = número de escalones

L = largo del escalón, m

a = ancho del escalón, m

y = profundidad del escalón, m

n = porosidad empleada

El volumen total de la escalera es igual a 9,33 m<sup>3</sup>.

Todos los sistemas de humedales artificiales pueden ser considerados como reactores biológicos y su rendimiento se puede aproximar al descrito por la cinética de primer orden de un reactor de flujo a pistón.

A continuación, se presenta una ecuación para estimar la remoción de DBO<sub>5</sub> en un sistema de este tipo. El modelo se basa en la experiencia con sistemas de aplicación sobre el suelo y filtros percoladores, dada la escasez de datos sobre sistemas tipo FWS y dado también que estos datos se reservaron para la validación del modelo: (Lara, J;1999)

$$\ln \left[ \frac{C_e}{C_s} \right] = \frac{V_e \cdot k_T \cdot n}{Q}$$

Donde:

V<sub>e</sub>: volumen del escalón, m<sup>3</sup>

C<sub>e</sub>: Concentración de DBO<sub>5</sub> en el afluente, mg/l

C<sub>s</sub>: Concentración de DBO<sub>5</sub> en el efluente, mg/l

K<sub>T</sub>: Constante de primer orden dependiente de la temperatura, d<sup>-1</sup>

n: porosidad del sistema (espacio disponible para el paso del agua) como fracción decimal

Q: caudal de agua en el sistema, m<sup>3</sup>/d

Para el cálculo de k<sub>T</sub> utilizamos la siguiente fórmula:

$$k_T = k_{20} \cdot (1,06)^{(T-20)}$$

Donde:

T: temperatura del agua, °C

K<sub>20</sub>: constante a 20°C, cuyo valor para humedales de flujo subsuperficial es 1,104 d<sup>-1</sup>.

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	$Q_{med}$	$Q_{punta}$	$Q_{max}$	$Q_{med}$	$Q_{punta}$	$Q_{max}$
$K_T$	0,825			1,315		
$Ln(C_e/C_s)$	0,321	0,214	0,102	0,409	0,273	0,136
$C_e$ (mg/l)	120,00	120,00	120,00	81,60	81,60	81,60
$C_s$ (mg/l)	87,07	96,89	107,83	54,20	62,12	71,20
Rendimiento	27,44%	19,26%	10,14%	33,57%	23,87%	12,75%

Tabla 24. Cálculo del rendimiento de eliminación de  $DBO_5$ .

La eliminación de SST no es significativa, por lo que supondremos que es nula y la concentración de SST de salida es igual a la de entrada.

Con respecto a la eliminación de DQO como en el caso de la fosa, el rendimiento es el mismo que en el caso de eliminación de  $DBO_5$ .

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	$Q_{med}$	$Q_{punta}$	$Q_{max}$	$Q_{med}$	$Q_{punta}$	$Q_{max}$
DQO entrada (mg/l)	200			136		
DQO eliminada (mg/l)	54,88	38,52	20,28	45,66	32,46	17,34
DQO salida (mg/l)	145,12	161,48	179,72	90,34	103,54	118,66

Tabla 25. Valores evolución de la concentración de DQO en el SETAR.

## 8. Drenos de aireación forzada.

Para el cálculo y diseño de este sistema de tratamiento secundario, batería de Drenos de piedras de aireación Forzada (DPAF) utilizamos los “*Criterios de definición del DPAF equivalente para diseño de redes de saneamiento urbano o rural*” presentadas en la tesis doctoral de la universidad de Sevilla “*Canales de Saneamiento como sistemas de transporte, evacuación y mejora de la calidad de las aguas negras*” realizada por Laura C. Pozo Morales en Mayo de 2010.

Los principios planteados en esta tesis doctoral son la base para los cálculos hidráulicos y de rendimiento del proceso que se presentan a continuación:

Dos de las definiciones más importantes son la Tubería Aireada Equivalente (TAE), que representa la zona del dren donde se desarrolla el transporte hidráulico más la mejora aeróbica de calidad de aguas y gases. En la investigación de referencia se modeliza el dren determinando su capacidad de transporte en función de su geometría, del lecho de piedra que origina una considerable reducción de volumen disponible en función de cada sección y del efecto de la pendiente. De esta forma se define la TAE y se determina el espacio ocupado por la cámara de gases en el dren. Y el Digestor Anaerobio Equivalente (DAE), que es la zona situada en la base del dren donde se produce la digestión anaerobia de los sólidos decantados y de la biopelícula desprendida de las piedras.

## 8.1. Cálculos hidráulicos.

La red de DPAF son unos canales de filtración de sección trapezoidal, excavados sobre el terreno. Estos se dividen en tres tramos de 10 m cada uno, separados entre si por dobles tajaderas o diques, a fin de mantener siempre los niveles mínimos de agua para mantenimiento de la biopelícula.

Después de realizar los cálculos que se mostrarán a continuación, se llegó a la conclusión de que es suficiente con poner 18 drenes paralelos en cada tramo para obtener un efluente dentro de los parámetros de legalidad. Sin embargo, se van a instalar 20, quedando 2 en reserva para poder responder ante aumentos de caudal.

Se procederá como en los tratamientos, los cálculos de diseño se harán para el caudal medio, estudiando la solución adoptada para todos los caudales.

### 8.1.1. Cálculos del primer tramo.

Tramo 1: tubería de saneamiento de equivalente de 530 mm de diámetro que contiene una cámara de aire ocupando el 52,96 % del tubo, un sector circular

de paso de agua equivalente a un tubo de 300 mm de diámetro a sección llena y un sector circular ocupado por la fosa de 0,036 m<sup>2</sup>.

La tubería aireada equivalente, TAE, correspondiente al tramo 1 será por tanto una conducción en lámina libre de 486 mm de diámetro, con una cámara de aire que ocupa el 62,9 % de la sección transversal e instalado con una pendiente del 1,5 %.

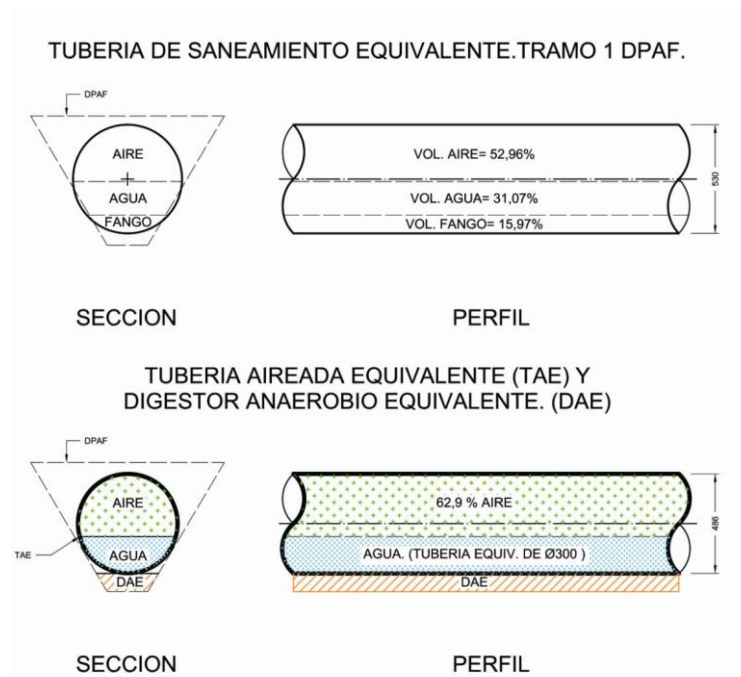


Imagen 1. Descripción TAE y DAE para el primer tramo del DPAF.

#### 8.1.1.1. Tiempo Residencia Hidráulico.

El volumen unitario de la TAE para este tramo será el siguiente:

$$V_{TAE}[m^3] = \pi \cdot \frac{(\phi_{TAE})^2[m^2]}{4} \cdot L_{tramo}[m] = \pi \cdot \frac{(0,486)^2}{4} \cdot 10 = 1,855 m^3$$

De la TAE no todo es volumen de agua, por lo que se ha de calcular el volumen del reactor, considerando sólo la parte ocupada por agua:

- Sección de agua de TAE:

$$A_{agua}[m^2] = \pi \cdot \frac{(\phi_{TAE})^2[m^2]}{4} \cdot \%_{agua \text{ en TAE}} = \pi \cdot \frac{(0,486)^2}{4} \cdot 0,371 = 0,0688 m^2$$

- Diámetro de la tubería de agua equivalente:

$$\phi_{tubería \text{ agua } eq}[m] = \sqrt{\frac{A_{agua}[m^2] \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{0,0688 \cdot 4}{\pi}} = 0,296 m$$

- Volumen del reactor:

$$V_{reactor}[m^3] = \pi \cdot \frac{(\phi_{tubería \text{ agua } eq}[m])^2}{4} \cdot L_{tramo}[m] = \pi \cdot \frac{(0,296)^2}{4} \cdot 10 = 0,6882 m^3$$

A partir del volumen del reactor, podemos calcular el TRH:

$$TRH[h] = \frac{V_{reactor}[m^3] \cdot n^{\circ} drenes}{Q \left[ \frac{m^3}{h} \right]}$$

El TRH debe ser mayor a 1h para el caudal medio:

$$TRH_{invierno}[h] = \frac{0,6882 \cdot 18}{1,67} = 7,4177 h$$

$$TRH_{verano}[h] = \frac{0,6882 \cdot 18}{2,08} = 5,9558 h$$

Una vez comprobado el TRH para el caudal medio, se evalúa para el resto de caudales. Los resultados están recogidos en la siguiente tabla:

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>
Q(m <sup>3</sup> /h) /tramo	1,67	2,50	5,00	2,08	3,13	6,25
TRH (h)	7,43	4,96	2,48	5,95	3,96	1,98

Tabla 26. TRH en función de todos los caudales.

#### 8.1.1.2. Carga volumétrica de materia orgánica (DBO<sub>5</sub>).

Para ello hay que recalcular el volumen total de la tubería equivalente al dren que sólo condujera agua. Por tanto se le aplica una cámara de aire del 40% al volumen de la Tubería Aireada Equivalente (TAE). Esta cámara de aire del 40% es el mínimo exigido para las tuberías convencionales de alcantarillado funcionando en lamina libre (Hernández Muñoz, A; 1997).

Para los siguientes cálculos también se va a tomar como volumen de reactor el volumen total de la tubería que sólo condujera agua, ya calculado anteriormente. Por lo que el volumen de reacción con el que se va a trabajar será:

$$V_{reacción}[m^3] = V_{reactor}[m^3] \cdot n^{\circ} drenes = 12,39 m^3$$

La concentración de DBO<sub>5</sub> de entrada al primer tramo del DPAF será la misma que la de salida de la escalera de oxigenación:

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>
Concentración DBO <sub>5</sub> (mg/l)	89,52	98,70	108,83	56,16	63,61	72,04

Tabla 27. Concentración DBO<sub>5</sub> de entrada al primer tramo del DPAF.

Masa  $DBO_5$  de entrada:

$$Masa_{DBO_5}(entrada)[gDBO_5/d] = Conc_{DBO_5}(entrada)[mg/l] \cdot Q[m^3/d]$$

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	$Q_{med}$	$Q_{punta}$	$Q_{máx}$	$Q_{med}$	$Q_{punta}$	$Q_{máx}$
Masa $DBO_5$ (g $DBO_5/d$ )	3.581	5.922	13.060	2.808	4.771	10.807

Tabla 28. Masa  $DBO_5$  de entrada al primer tramo del DPAF.

Carga volumétrica de materia orgánica:

$$Carga\ volumétrica[g\ DBO_5/m^3] = \frac{Masa_{DBO_5}(entrada)[gDBO_5/d]}{V_{reacción}[m^3]}$$

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	$Q_{med}$	$Q_{punta}$	$Q_{máx}$	$Q_{med}$	$Q_{punta}$	$Q_{máx}$
Carga Volumétrica MO (g. $DBO_5/m^3$ de reactor)	289,04	478,05	1.054,22	226,66	385,09	872,33

Tabla 29. Carga volumétrica de MO del primer tramo del DPAF.

Para calcular el rendimiento de eliminación de materia orgánica ( $DBO_5$ ) del tramo del DPAF se usa la siguiente fórmula:

$$Rendimiento[\%] = 0,8605 \cdot e^{(-0,003 \cdot Carga\ volumétrica[g\ DBO_5/m^3])} \cdot 100$$

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	$Q_{med}$	$Q_{punta}$	$Q_{máx}$	$Q_{med}$	$Q_{punta}$	$Q_{máx}$
Rendimiento (%)	36,15	20,51	3,64	43,60	27,10	6,28

Tabla 30. Eliminación de MO en el primer tramo del DPAF.

Masa  $DBO_5$  eliminada:

$$Masa_{DBO_5}(eliminada)[gDBO_5/d] = Masa_{DBO_5}(entrada)[gDBO_5/d] \cdot Rendimiento$$

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	$Q_{med}$	$Q_{punta}$	$Q_{máx}$	$Q_{med}$	$Q_{punta}$	$Q_{máx}$
Masa $DBO_5$ (g $DBO_5/d$ )	1.295	1.214	476	1.224	1.293	679

Tabla 31. Masa  $DBO_5$  eliminada en el primer tramo del DPAF.

Masa  $DBO_5$  salida:

$$Masa_{DBO_5}(salida)[gDBO_5/d] = Masa_{DBO_5}(entrada)[gDBO_5/d] - Masa_{DBO_5}(eliminada)[gDBO_5/d]$$

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>
Masa DBO <sub>5</sub> (g DBO <sub>5</sub> /d)	2.286	4.708	12.584	1.584	3.478	10.128

Tabla 32. Masa DBO<sub>5</sub> a la salida del primer tramo del DPAF.

Concentración DBO<sub>5</sub> salida:

$$Conc_{DBO_5}(salida)[mg/l] = \frac{Masa_{DBO_5}(salida)[gDBO_5/d]}{Q[m^3/d]}$$

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>
Concentración DBO <sub>5</sub> (mg/l)	57,15	78,46	104,87	31,68	46,37	67,52

Tabla 33. Concentración DBO<sub>5</sub> a la salida del primer tramo del DPAF.

Como se ha mencionado anteriormente la eliminación de DQO se calcula con el mismo rendimiento que el de eliminación de DBO<sub>5</sub>, debido a que ambos se deben a la eliminación de materia orgánica y no se añade ningún producto químico a lo largo del tratamiento.

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>
DQO entrada (mg/l)	145,12	161,48	179,72	90,34	103,54	118,66
Rendimiento (%)	36,15	20,51	3,64	43,60	27,10	6,28
DQO eliminada (mg/l)	52,46	33,12	6,54	39,39	29,69	7,45
DQO salida (mg/l)	92,66	128,36	173,18	50,95	79,85	111,21

Tabla 34. Evolución DQO en el primer tramo del DPAF.

### 8.1.1.3. Carga volumétrica de Sólidos en Suspensión (SST).

La concentración de SST de entrada al primer tramo del DPAF será la de salida de la fosa, debido a que el rendimiento de eliminación de SST de la escalera de oxigenación es aproximadamente nulo: 112,50 mg/l.

Masa SST de entrada:

$$Masa_{SST}(entrada)[gSST/d] = Conc_{SST}(entrada)[mg/l] \cdot Q[m^3/d]$$

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>
Masa SST (g DBO <sub>5</sub> /d)	4.500	6.750	13.500	5.625	8.437	16.875

Tabla 35. Masa SST entrada al primer tramo del DPAF.



Carga volumétrica de Sólidos en Suspensión:

$$Carga\ volumétrica[g\ SST/m^3] = \frac{Masa_{SST}(entrada)[gSST/d]}{V_{reacción}[m^3]}$$

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>
Carga Volumétrica SST (gSST/m <sup>3</sup> de reactor)	363,25	544,87	1.089,74	454,06	681,09	1.362,18

Tabla 36. Carga volumétrica de SST en el primer tramo del DPAF.

Para calcular el rendimiento de eliminación de SST del tramo del DPAF se usa la siguiente fórmula:

$$Rendimiento[\%] = 0,5682 \cdot e^{(-0,004 \cdot Carga\ volumétrica[g\ SST/m^3])} \cdot 100$$

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>
Rendimiento (%)	13,29	6,43	0,73	9,24	3,73	0,24

Tabla 37. Rendimiento eliminación de SST en el primer tramo del DPAF.

Masa SST eliminada:

$$Masa_{SST}(eliminada)[gSST/d] = Masa_{SST}(entrada)[gSST/d] \cdot Rendimiento$$

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>
Masa SST (g SST/d)	597,98	433,78	98,12	519,81	314,44	41,25

Tabla 38. Masa SST eliminada en el primer tramo del DPAF.

Masa SST salida:

$$Masa_{SST}(salida)[gSST/d] = Masa_{SST}(entrada)[gSST/d] - Masa_{SST}(eliminada)[gSST/d]$$

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>
Masa SST (g SST/d)	3.902	6.316	13.402	5.105	8.123	16.834

Tabla 39. Masa SST salida en el primer tramo del DPAF.



Concentración SST salda:

$$Conc_{SST}(salida)[mg/l] = \frac{Masa_{SST}(salida)[gSST/d]}{Q[m^3/d]}$$

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>
Concentración SST (mg/l)	97,55	105,27	111,68	102,10	108,31	112,23

Tabla 40. Concentración SST a la salida del primer tramo del DPAF.

### 8.1.2. Cálculos del segundo tramo.

Tramo 2: Tubería de saneamiento equivalente de 550 mm de diámetro que contiene una cámara de aire ocupando el 51,90 % del tubo, un sector circular de paso de agua equivalente a una conducción de 330 mm de diámetro a sección llena y un sector circular ocupado por la fosa de 0,025 m<sup>2</sup>.

En el segundo tramo, la tubería aireada equivalente, TAE, se corresponde con una conducción 520 mm de diámetro, con una cámara de aire que ocupa el 58,08 %, con transporte del agua en lámina libre e instalada con una pendiente del 1 %.

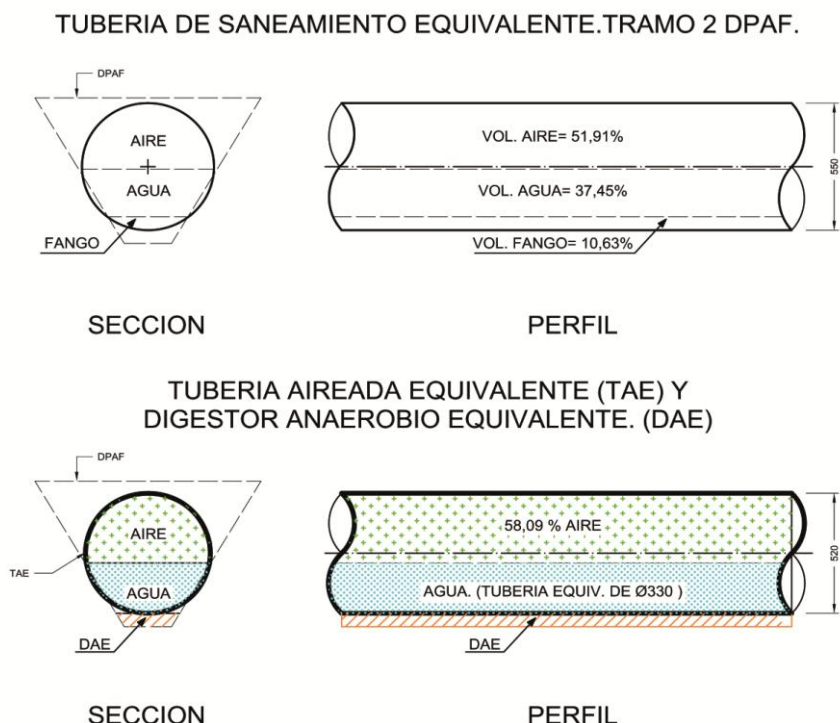


Imagen 2. Descripción TAE y DAE para el segundo tramo del DPAF.

### 8.1.2.1. Tiempo Residencia Hidráulico.

El volumen unitario de la TAE para este tramo será el siguiente:

$$V_{TAE} [m^3] = \pi \cdot \frac{(\phi_{TAE})^2 [m^2]}{4} \cdot L_{tramo} [m] = \pi \cdot \frac{(0,520)^2}{4} \cdot 10 = 2,124 m^3$$

De la TAE no todo es volumen de agua, por lo que se ha de calcular el volumen del reactor, considerando sólo la parte ocupada por agua:

- Sección de agua de TAE:

$$A_{agua} [m^2] = \pi \cdot \frac{(\phi_{TAE})^2 [m^2]}{4} \cdot \%_{agua \text{ en TAE}} = \pi \cdot \frac{(0,520)^2}{4} \cdot 0,4192 = 0,0890 m^2$$

- Diámetro de la tubería de agua equivalente:

$$\phi_{tubería \text{ agua } eq} [m] = \sqrt{\frac{A_{agua} [m^2] \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{0,0890 \cdot 4}{\pi}} = 0,337 m$$

- Volumen del reactor:

$$V_{reactor} [m^3] = \pi \cdot \frac{(\phi_{tubería \text{ agua } eq} [m])^2}{4} \cdot L_{tramo} [m] = \pi \cdot \frac{(0,337)^2}{4} \cdot 10 = 0,892 m^3$$

A partir del volumen del reactor, podemos calcular el TRH:

$$TRH[h] = \frac{V_{reactor} [m^3] \cdot n^{\circ} \text{ drenes}}{Q \left[ \frac{m^3}{h} \right]}$$

El TRH debe ser mayor a 1h para el caudal medio:

$$TRH_{invierno} [h] = \frac{0,892 \cdot 18}{1,67} = 9,6133 h$$

$$TRH_{verano} [h] = \frac{0,892 \cdot 18}{2,08} = 7,7184 h$$

Una vez comprobado el TRH para el caudal medio, se evalúa para el resto de caudales. Los resultados están recogidos en la siguiente tabla:

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>
Q(m <sup>3</sup> /h) /tramo	1,67	2,50	5,00	2,08	3,13	6,25
TRH (h)	9,63	6,42	3,21	7,71	5,14	2,57

Tabla 41. TRH en función de todos los caudales.

#### 8.1.2.2. Carga volumétrica de materia orgánica (DBO<sub>5</sub>).

Para ello hay que recalcular el volumen total de la tubería equivalente al dren que sólo condujera agua. Por tanto se le aplica una cámara de aire del 40% al volumen de la Tubería Aireada Equivalente (TAE). Esta cámara de aire del 40% es el mínimo exigido para las tuberías convencionales de alcantarillado funcionando en lamina libre (Hernández Muñoz, A; 1997).

Los cálculos para este tramo son igual que para el anterior:

$$V_{reacción} [m^3] = V_{reactor} [m^3] \cdot n^{\circ}drenes = 16,06 m^3$$

La concentración de DBO<sub>5</sub> de entrada al primer tramo del DPAF será la de salida del tramo anterior:

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>
Concentración DBO <sub>5</sub> (mg/l)	57,15	78,46	104,87	31,68	46,37	67,52

Tabla 42. Concentración DBO<sub>5</sub> entrada al segundo tramo del DPAF.

Masa DBO<sub>5</sub> de entrada:

$$Masa_{DBO_5}(entrada)[gDBO_5/d] = Conc_{DBO_5}(entrada)[mg/l] \cdot Q[m^3/d]$$

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>
Masa DBO <sub>5</sub> (g DBO <sub>5</sub> /d)	2.286	4.708	12.584	1.584	3.478	10.128

Tabla 43. Masa DBO<sub>5</sub> entrada al segundo tramo del DPAF.

Carga volumétrica de materia orgánica:

$$Carga\ volumétrica[g\ DBO_5/m^3] = \frac{Masa_{DBO_5}(entrada)[gDBO_5/d]}{V_{reacción}[m^3]}$$

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>
Carga Volumétrica MO (g.DBO <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> de reactor)	142,39	293,22	783,81	98,65	216,60	630,79

Tabla 44. Carga volumétrica DBO<sub>5</sub> entrada al segundo tramo del DPAF.

Para calcular el rendimiento de eliminación de materia orgánica (DBO<sub>5</sub>) del tramo del DPAF se usa la siguiente fórmula:

$$Rendimiento[\%] = 0,8605 \cdot e^{(-0,003 \cdot Carga\ volumétrica[g\ DBO_5/m^3])} \cdot 100$$

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>
Rendimiento (%)	56,13	35,70	8,19	64,01	44,93	12,97

Tabla 45. Rendimiento eliminación DBO<sub>5</sub> en el segundo tramo del DPAF.

Masa DBO<sub>5</sub> eliminada:

$$Masa_{DBO_5}(eliminada)[gDBO_5/d] = Masa_{DBO_5}(entrada)[gDBO_5/d] \cdot Rendimiento$$

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>
Masa DBO <sub>5</sub> (g DBO <sub>5</sub> /d)	1.283	1.681	1.031	1.014	1.563	1.313

Tabla 46. Masa DBO<sub>5</sub> eliminada en el segundo tramo del DPAF.

Masa DBO<sub>5</sub> salida:

$$\begin{aligned} \text{Masa}_{\text{DBO}_5}(\text{salida})[\text{gDBO}_5/\text{d}] \\ = \text{Masa}_{\text{DBO}_5}(\text{entrada})[\text{gDBO}_5/\text{d}] - \text{Masa}_{\text{DBO}_5}(\text{eliminada})[\text{gDBO}_5/\text{d}] \end{aligned}$$

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>
Masa DBO <sub>5</sub> (g DBO <sub>5</sub> /d)	1.003	3.027	11.553	570	1.915	8.814

Tabla 47. Masa DBO<sub>5</sub> salida del segundo tramo del DPAF.

Concentración DBO<sub>5</sub> salida:

$$\text{Conc}_{\text{DBO}_5}(\text{salida})[\text{mg/l}] = \frac{\text{Masa}_{\text{DBO}_5}(\text{salida})[\text{gDBO}_5/\text{d}]}{Q[\text{m}^3/\text{d}]}$$

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>
Concentración DBO <sub>5</sub> (mg/l)	25,07	50,45	96,28	11,40	25,53	58,76

Tabla 48. Concentración DBO<sub>5</sub> salida del segundo tramo del DPAF.

Como se ha mencionado anteriormente la eliminación de DQO se calcula con el mismo rendimiento que el de eliminación de DBO<sub>5</sub>, debido a que ambos se deben a la eliminación de materia orgánica y no se añade ningún producto químico a lo largo del tratamiento.

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>
DQO entrada (mg/l)	92,66	128,36	173,18	50,95	79,85	111,21
Rendimiento (%)	56,13	35,70	8,19	64,01	44,93	12,97
DQO eliminada (mg/l)	52,01	45,82	14,18	32,61	8,92	14,42
DQO salida (mg/l)	40,65	82,54	158,99	18,34	10,93	96,79

Tabla 49. Evolución DQO en el segundo tramo del DPAF.

### 8.1.2.3. Carga volumétrica de Sólidos en Suspensión (SST).

La concentración y masa de SST de entrada al segundo tramo será la de salida tramo anterior:

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>
Concentración SST (mg/l)	97,55	105,27	111,68	102,10	108,31	112,23
Masa SST (g DBO <sub>5</sub> /d)	3.902	6.316	13.402	5.105	8.123	16.834

Tabla 50. Concentración y masa SST entrada al segundo tramo del DPAF.

Carga volumétrica de Sólidos en Suspensión:

$$Carga\ volumétrica[g\ SST/m^3] = \frac{Masa_{SST}(entrada)[gSST/d]}{V_{reacción}[m^3]}$$

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>
Carga Volumétrica SST (gSST/m <sup>3</sup> de reactor)	243,03	393,40	834,73	317,97	505,94	1.048,48

Tabla 51. Carga volumétrica SST en el segundo tramo del DPAF.

Para calcular el rendimiento de eliminación de SST del tramo del DPAF se usa la siguiente fórmula:

$$Rendimiento[\%] = 0,5682 \cdot e^{(-0,004 \cdot Carga\ volumétrica[g\ SS/m^3])} \cdot 100$$

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>
Rendimiento (%)	41,51%	26,44%	7,03%	33,15%	18,86%	3,70%

Tabla 52. Rendimiento eliminación SST en el segundo tramo del DPAF.

Masa SST eliminada:

$$Masa_{SST}(eliminada)[gSST/d] = Masa_{SST}(entrada)[gSST/d] \cdot Rendimiento$$

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>
Masa SST (g SST/d)	1.619,55	1.669,76	942,69	1.692,32	1.532,12	623,58

Tabla 53. Masa SST eliminada en el segundo tramo del DPAF.

Masa SST salida:

$$Masa_{SST}(salida)[gSST/d] \\ = Masa_{SST}(entrada)[gSST/d] - Masa_{SST}(eliminada)[gSST/d]$$

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>
Masa SST (g SST/d)	2.282	4.646	12.459	3.413	6.591	16.210

Tabla 54. Masa SST a la salida del segundo tramo del DPAF.

Concentración SST salida:

$$Conc_{SST}(salida)[mg/l] = \frac{Masa_{SST}(salida)[gSST/d]}{Q[m^3/d]}$$

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>
Concentración SST (mg/l)	57,06	77,44	103,83	68,26	87,88	108,07

Tabla 55. Concentración salida SST segundo tramo del DPAF.

### 8.1.3. Cálculos del tercer tramo.

Tramo 3: Tubería de saneamiento equivalente de 550 mm de diámetro que contiene una cámara de aire ocupando el 44,47 % del tubo, un sector circular de paso de agua equivalente a una conducción de 380 mm de diámetro a sección llena y un sector circular ocupado por la fosa de 0,018 m<sup>2</sup>.

La tubería aireada equivalente, TAE, que representa el tercer tramo del DPAF se corresponde con una conducción 530 mm de diámetro, con una cámara de aire que ocupa el 48,08 %, con transporte del agua en lámina libre e instalada con una pendiente del 1 %.



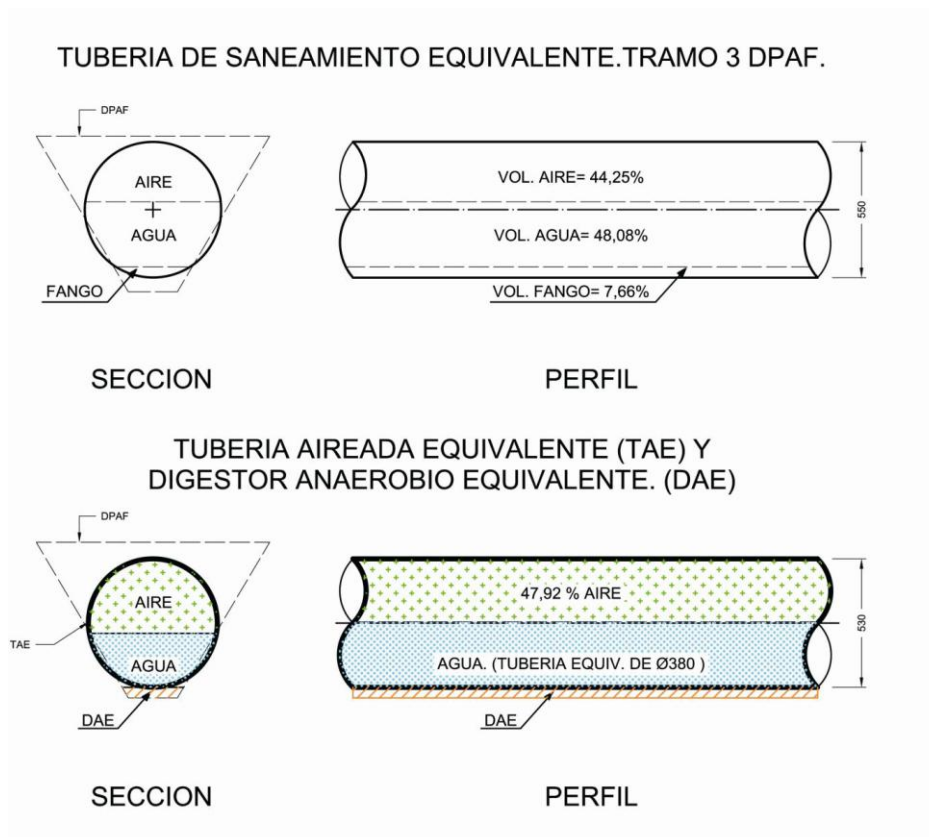


Imagen 3. Descripción TAE y DAE para el tercer tramo del DPAF.

### 8.1.3.1. Tiempo Residencia Hidráulico.

El volumen unitario de la TAE para este tramo será el siguiente:

$$V_{TAE} [m^3] = \pi \cdot \frac{(\phi_{TAE})^2 [m^2]}{4} \cdot L_{tramo} [m] = \pi \cdot \frac{(0,530)^2}{4} \cdot 10 = 2,206 m^3$$

De la TAE no todo es volumen de agua, por lo que se ha de calcular el volumen del reactor, considerando sólo la parte ocupada por agua:

- Sección de agua de TAE:

$$A_{agua} [m^2] = \pi \cdot \frac{(\phi_{TAE})^2 [m^2]}{4} \cdot \%_{agua \text{ en TAE}} = \pi \cdot \frac{(0,530)^2}{4} \cdot 0,5192$$

$$= 0,1145 m^2$$



- Diámetro de la tubería de agua equivalente:

$$\phi_{tubería\ agua\ eq} [m] = \sqrt{\frac{A_{agua} [m^2] \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{0,1145 \cdot 4}{\pi}} = 0,382\ m$$

- Volumen del reactor:

$$\begin{aligned} V_{reactor} [m^3] &= \pi \cdot \frac{(\phi_{tubería\ agua\ eq} [m])^2}{4} \cdot L_{tramo} [m] \\ &= \pi \cdot \frac{(0,382)^2}{4} \cdot 10 = 1,146\ m^3 \end{aligned}$$

A partir del volumen del reactor, podemos calcular el TRH:

$$TRH[h] = \frac{V_{reactor} [m^3] \cdot n^{\circ} drenes}{Q \left[ \frac{m^3}{h} \right]}$$

El TRH debe ser mayor a 1h para el caudal medio:

$$TRH_{invierno} [h] = \frac{1,146 \cdot 18}{1,67} = 12,3521\ h$$

$$TRH_{verano} [h] = \frac{1,146 \cdot 18}{2,08} = 9,9173\ h$$

Una vez comprobado el TRH para el caudal medio, se evalúa para el resto de caudales. Los resultados están recogidos en la siguiente tabla:

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>
Q(m <sup>3</sup> /h) /tramo	1,67	2,50	5,00	2,08	3,13	6,25
TRH (h)	12,38	8,25	4,13	9,90	6,60	3,30

Tabla 56. TRH en función de todos los caudales.

### 8.1.3.2. Carga volumétrica de materia orgánica (DBO<sub>5</sub>).

Para ello hay que recalcular el volumen total de la tubería equivalente al dren que sólo condujera agua. Por tanto se le aplica una cámara de aire del 40% al volumen de la Tubería Aireada Equivalente (TAE). Esta cámara de aire del 40% es el mínimo exigido para las tuberías convencionales de alcantarillado funcionando en lamina libre (Hernández Muñoz, A; 1997).

Los cálculos para este tramo son igual que para el anterior:

$$V_{rsacción}[m^3] = V_{rsactor}[m^3] \cdot n^{\circ}drenes = 20,63 m^3$$

La concentración y masa de DBO<sub>5</sub> de entrada al tercer tramo del DPAF será la de salida del tramo anterior:

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>
Concentración DBO <sub>5</sub> (mg/l)	25,07	50,45	96,28	11,40	25,53	58,76
Masa DBO <sub>5</sub> (g DBO <sub>5</sub> /d)	1.003	3.027	11.553	570	1.915	8.814

Tabla 57. Concentración y masa entrada al tercer tramo del DPAF.

Carga volumétrica de materia orgánica:

$$Carga\ volumétrica[g\ DBO_5/m^3] = \frac{Masa_{DBO_5}(entrada)[g\ DBO_5/d]}{V_{rsacción}[m^3]}$$

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>
Carga Volumétrica MO (g.DBO <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> de reactor)	48,61	146,73	560,03	27,63	92,83	427,26

Tabla 58. Carga volumétrica del tercer tramo del DPAF.

Para calcular el rendimiento de eliminación de materia orgánica (DBO<sub>5</sub>) del tramo del DPAF se usa la siguiente fórmula:

$$Rendimiento[\%] = 0,8605 \cdot e^{(-0,003 \cdot Carga\ volumétrica[g\ DBO_5/m^3])} \cdot 100$$

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>
Rendimiento (%)	74,37	55,41	16,04	79,20	65,13	23,88

Tabla 59. Rendimiento eliminación MO en el tercer tramo del DPAF.

Masa DBO<sub>5</sub> eliminada:

$$Masa_{DBO_5}(\text{eliminada})[gDBO_5/d] = Masa_{DBO_5}(\text{entrada})[gDBO_5/d] \cdot \text{Rendimiento}$$

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>
Masa DBO <sub>5</sub> (g DBO <sub>5</sub> /d)	746	1.677	1.853	452	1.247	2.105

Tabla 60. Masa DBO<sub>5</sub> eliminada en el tercer tramo del DPAF.

Masa DBO<sub>5</sub> salida:

$$Masa_{DBO_5}(\text{salida})[gDBO_5/d] = Masa_{DBO_5}(\text{entrada})[gDBO_5/d] - Masa_{DBO_5}(\text{eliminada})[gDBO_5/d]$$

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>
Masa DBO <sub>5</sub> (g DBO <sub>5</sub> /d)	257	1.350	9.700	119	668	6.709

Tabla 61. Masa DBO<sub>5</sub> salida del tercer tramo del DPAF.

Concentración DBO<sub>5</sub> salida:

$$Conc_{DBO_5}(\text{salida})[mg/l] = \frac{Masa_{DBO_5}(\text{salida})[gDBO_5/d]}{Q[m^3/d]}$$

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>
Concentración DBO <sub>5</sub> (mg/l)	6,42	22,50	80,84	2,37	8,90	44,73

Tabla 62. Concentración DBO<sub>5</sub> de salida tercer tramo del DPAF.

Como se ha mencionado anteriormente la eliminación de DQO se calcula con el mismo rendimiento que el de eliminación de DBO<sub>5</sub>, debido a que ambos se deben a la eliminación de materia orgánica y no se añade ningún producto químico a lo largo del tratamiento.

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>
DQO entrada (mg/l)	40,65	82,54	158,99	18,34	10,93	96,79
Rendimiento (%)	74,37	55,41	16,04	79,20	65,13	23,88
DQO eliminada (mg/l)	30,23	45,74	25,50	14,56	7,12	23,11
DQO salida (mg/l)	10,42	36,80	133,49	3,83	3,81	73,68

Tabla 63. Evolución DQO en el tercer tramo del DPAF.

### 8.1.3.3. Carga volumétrica de Sólidos en Suspensión (SST).

La concentración y masa de SST de entrada al tercer tramo será la de salida tramo anterior:

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>
Concentración SST (mg/l)	57,06	77,44	103,83	68,26	87,88	108,07
Masa SST (g SST/d)	2.282	4.646	12.459	3.413	6.591	16.210

Tabla 64. Concentración y masa SST entrada al tercer tramo del DPAF.

Carga volumétrica de Sólidos en Suspensión:

$$Carga\ volumétrica[g\ SST/m^3] = \frac{Masa_{SST}(entrada)[gSST/d]}{V_{reacción}[m^3]}$$

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>
Carga Volumétrica SST (gSST/m <sup>3</sup> de reactor)	110,64	225,23	603,95	165,44	319,49	785,78

Tabla 65. Carga volumétrica de SST en tercer tramo del DPAF.

Para calcular el rendimiento de eliminación de SST del tramo del DPAF se usa la siguiente fórmula:

$$Rendimiento[\%] = 0,5682 \cdot e^{(-0,004 \cdot Carga\ volumétrica[g\ SS/m^3])} \cdot 100$$

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>
Rendimiento (%)	61,74%	43,78%	14,06%	52,38%	33,00%	8,15%

Tabla 66. Rendimiento eliminación SST en tercer tramo del DPAF.

Masa SST eliminada:

$$Masa_{SST}(eliminada)[gSST/d] = Masa_{SST}(entrada)[gSST/d] \cdot Rendimiento$$

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>
Masa SST (g SST/d)	1.409	2.034	1.751	1.788	2.175	1.321

Tabla 67. Masa eliminada SST en tercer tramo del DPAF.

Masa SST salida:

$$Masa_{SST}(salida)[gSST/d] \\ = Masa_{SST}(entrada)[gSST/d] - Masa_{SST}(eliminada)[gSST/d]$$

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>
Masa SST (g SST/d)	873	2.612	10.708	1.625	4.416	14.890

Tabla 68. Masa SST salida del tercer tramo del DPAF.

Concentración SST salida:

$$Conc_{SST}(salida)[mg/l] = \frac{Masa_{SST}(salida)[gSST/d]}{Q[m^3/d]}$$

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>
Concentración SST (mg/l)	21,83	43,54	89,23	32,50	58,88	99,26

Tabla 69. Concentración salida SST del tercer tramo del DPAF

## 8.2. Resultados obtenidos.

A continuación se muestran las concentraciones de salida obtenidas:

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO (INVIERNO)			VALOR MÁXIMO (VERANO)		
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>punta</sub>	Q <sub>máx</sub>
Concentración DBO <sub>5</sub> (mg/l)	6,42	22,50	80,84	2,37	8,90	44,73
DQO salida (mg/l)	10,42	36,80	133,49	3,83	3,81	73,68
Concentración SST (mg/l)	21,83	43,54	89,23	32,50	58,88	99,26

Tabla 70. Valores finales de contaminación: DBO, DQO y SST.

Como se puede observar para caudales medios se cumplen los límites de vertido exigidos por el RD 509/1996, del 15 de marzo. A partir, de la fosa de alta velocidad solo tendremos caudales medios, ya que esta se encarga de regular los caudales, por lo cual no presenta un grave problema que no se cumpla estrictamente para el resto. Además, existe la posibilidad de aumentar el rendimiento del DPAF repartiendo la carga de entrada entre el primer y segundo caudal.