

ANEJO 4 DIMENSIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES

1.- INTRODUCCIÓN. DATOS DE PARTIDA

En el presente anejo se realiza y justifica el dimensionamiento de las instalaciones de saneamiento y depuración proyectadas para el municipio de Cárdenas, en base a la información recopilada en el Anejo 1 *Datos previos*.

Según el citado anejo, la carga equivalente que se empleará para el diseño es de 306 h-e. En invierno podemos estimar que la carga baja a 207 h-e, considerando que la población estacional es de 99 habitantes según los datos del Plan Director.

DATOS BÁSICOS DE PARTIDA

	VERANO	INVIerno	
Población equivalente adoptada	306	207	h.e.
Dotaciones y cargas			
Dotación (1)	250	250	l/h.e./día
DBO ₅	60	60	g/h.e./día
DQO	120	120	g/h.e./día
SST	90	90	g/h.e./día
NTK	10	10	g/h.e./día
Pt	3	3	g/h.e./día

(1) En poblaciones pequeñas de menos de 10.000 h-e las dotaciones suelen ser menores (entre 170-220 l/h.e y día), aunque mantenemos la cifra de 250 que contempla el Plan Director de saneamiento.

Caudales de diseño	VERANO	INVIerno	
Caudal medio	76.50	51.75	m³/d
	3.19	2.16	m³/h
	0.89	0.60	l/s
Caudal punta (2)	7.97	5.39	m³/h
	2.21	1.50	l/s

(2) Coeficiente de punta = 2,5. Algunos organismos consideran valores mayores para el caso de pequeñas poblaciones (menos de 500 h-e). En nuestro caso mantenemos el valor usualmente empleado por el Consorcio de aguas y residuos de La Rioja. En todo caso, este factor se compensa parcialmente al haber considerado una mayor dotación.

Contaminación a la entrada	VERANO	INVIerno	
DBO₅			
Carga diaria total	18.36	12.42	kg/d
Concentración entrada	240.00	240.00	mg/l
SS			
Carga diaria total	27.54	18.63	kg/d
Concentración entrada	360.00	360.00	mg/l
DQO			
Carga diaria total	36.72	24.84	kg/d
Concentración entrada	480.00	480.00	mg/l
NUTRIENTES			
NTK			
Carga diaria total	3.06	2.07	kg/d
Concentración entrada	40.00	40.00	mg/l
P			
Carga diaria total	0.92	0.62	kg/d
Concentración entrada	12.00	12.00	mg/l

Objetivos de calidad del efluente

Concentración DBO ₅	≤	25	mg/l O ₂
Concentración SS	≤	35	mg/l

2.- DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES

2.1.- DISEÑO DE LAS INSTALACIONES

A la vista de los datos referidos y de acuerdo con las conclusiones del Anejo 1, se considera adecuado implantar un sistema de depuración consistente en la instalación de una fosa séptica complementada con un humedal artificial, que implica la construcción de un colector general para transportar las aguas desde el último pozo de registro municipal hasta los terrenos seleccionados para albergar las instalaciones de depuración.

Los humedales artificiales son instalaciones que permiten alcanzar buenos rendimientos de depuración en términos de DBO₅, SST y N-NH₃. Este sistema está recogido como una de las tecnologías propuestas por el Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones editado por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino en colaboración con el CEDEX.

En este proyecto se propone la construcción de un humedal de flujo subsuperficial, pues presentan menor incidencia de malos olores debido a la naturaleza subterránea del flujo del agua, menor riesgo de aparición de insectos y menor impacto de la temperatura ambiental sobre los rendimientos de depuración.

Existen dos tipos: de flujo horizontal y vertical, que obtienen rendimientos similares. Se opta por el primer tipo que permite una alimentación continua al sistema, a pesar de que es más sensible a presentar problemas de colmatación en la zona de alimentación, por lo que requiere un buen diseño del reparto del caudal a la entrada al humedal y una especial vigilancia de este aspecto en la fase de explotación.

Previamente, las aguas serán tratadas en una fosa séptica. Las fosas sépticas son dispositivos enterrados en los que se retiene y se mineraliza la materia orgánica sedimentable presente en las aguas residuales a la vez que, por flotación, se separan las grasas y otros componentes. Se encuentran compartimentadas, siendo la disposición más frecuente la de dos compartimentos dispuestos en serie. En el primero tiene lugar la sedimentación, digestión y almacenamiento de sólidos decantables del agua residual, a la vez que en superficie se forma progresivamente una costra constituida por las grasas y flotantes presentes en las aguas. Durante la degradación anaerobia de los lodos decantados, las burbujas de gas producidas obstaculizan la sedimentación normal de los sólidos presentes en las aguas residuales influentes, por lo que se dispone de

un segundo compartimento en el que las partículas más ligeras encuentran condiciones de sedimentación más favorables.

Los lodos retenidos en los fondos de los distintos compartimentos experimentan reacciones de degradación anaerobia, reduciendo su volumen, lo que permite que las fosas funcionen durante largos periodos de tiempo sin necesidad de purga de lodos.

Criterios de diseño de la fosa séptica

- Como norma general, el volumen total de las fosas sépticas es de unos 300 l/habitante equivalente.
- En las fosas de dos compartimentos se recomienda que el primero de ellos ocupe un 66% del volumen total.
- La altura útil del agua en el interior de los compartimentos oscilará entre 1.2 y 1.7 m, dejando un resguardo mínimo en la parte superior de 0.30 m.
- La longitud total de la fosa debe estar comprendida entre dos y tres veces la anchura de los compartimentos.

Los rendimientos que se obtienen en el tratamiento del agua residual en una fosa séptica son:

RENDIMIENTOS OBTENIDOS EN FOSA SÉPTICA		
PARÁMETRO	Mínimo	Máximo
Sólidos en suspensión	50 %	60 %
DBO ₅	30 %	40 %
DQO	20 %	30 %
Nitrógeno	10 %	20 %
Fósforo	0 %	5 %

Adoptaremos los valores de rendimientos mínimos para el dimensionamiento de las instalaciones.

Criterios de diseño del humedal

Los modelos más empleados para el dimensionamiento de los humedales artificiales parten de la base de considerarlos como reactores de flujo pistón, que siguen cinéticas de primer orden para la eliminación de los distintos contaminantes.

La superficie necesaria para la implantación del humedal se calcula mediante la siguiente fórmula (propuesta en el Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones):

Donde:

S = superficie necesaria (m^2)

Q_m = caudal medio de alimentación

C_e = concentración del contaminante en el agua de entrada (mg/l). Influyente

C_s = concentración del contaminante en el agua de salida (mg/l). Efluente

K_T = constante de reacción (d^{-1})

h = profundidad de la lámina de agua

φ = porosidad del sustrato filtrante (en tanto por 1).

La constante de reacción depende de la temperatura, pudiendo obtenerse mediante la expresión:

Siendo:

K_R = constante de reacción a la temperatura de referencia

T_w = temperatura del agua considerada en el diseño. Suele emplearse la media del mes más frío.

T_r = temperatura de referencia a la que se calcula el coeficiente θ . Suele ser $20^\circ C$

θ = coeficiente de temperatura (adimensional).

Los valores de K_R y θ para la eliminación de DBO_5 se recogen en la Tabla 6.8 del Manual:

MANUAL PARA LA IMPLANTACIÓN DE SISTEMAS DE DEPURACIÓN EN PEQUEÑAS POBLACIONES

Tabla 6.8. Valores de K_R y θ_R para cada tipo de contaminante

Contaminación a eliminar		DBO_5	NH_4^+ nitrificación	NH_4^+ desnitrificación
Humedales Artificiales de Flujo Superficial	K_R (d^{-1})	0,678	0,2187	1
	θ_R	1,06	1,048	1,15
Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal	K_R (d^{-1})	1,104	$0,01854 + 0,3922 (h_r)^{2,6077}$	1
	θ_R	1,06	1,048	1,15

Nota: h_r = Profundidad del lecho ocupado por la rizosfera (m).

Los valores de porosidad en función de los tamaños de sustrato se recogen en la Tabla 6.9:

Tabla 6.9. Valores de la porosidad para distintos tipos de sustratos (Reed et al., 1995)

Tipo de medio	Tamaño efectivo d_{10}^* (mm)	Porosidad (φ_s)
Arena gruesa	2	0,28-0,32
Arena-grava	8	0,30-0,35
Grava fina	16	0,35-0,38

* d_{10} = diámetro para el que el 10% del sustrato es más fino.

2.2.- DIMENSIONAMIENTO

Fosa séptica

Se proyecta una fosa séptica de dos compartimentos con solera, muros y forjado de hormigón armado.

Volumen total aprox: $V = 300 \text{ h-e} \times 300 \text{ l/h-e} = 90 \text{ m}^3$

Volumen cámara 1 aprox: $V = 0.66 \times 90 = 59.4 \text{ m}^3$

Altura de lámina de agua: $h = 1.70 \text{ m}$

Anchura de la fosa: $a = 4 \text{ m}$

Dimensiones cámara 1: $9 \times 4 \times 1.70 = 61.2 \text{ m}^3$

Dimensiones cámara 2: $4.5 \times 4 \times 1.70 = 30.6 \text{ m}^3$

Volumen total: $V = 91.8 \text{ m}^3$

Con estas dimensiones de fosa obtenemos:

Carga aplicada	VERANO	INVIERNO	
Carga superficial a Qpunta	0.15	0.10	$\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$
Carga superficial a Qmed	0.06	0.04	$\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$
Rendimientos de eliminación			
Rendimiento de eliminación de DBO_5	30	30	%
DBO_5 entrada	240	240	mg/l
DBO_5 a humedal	168	168	mg/l
Rendimiento de eliminación de SST	50	50	%
SST entrada	360	360	mg/l
SST a humedal	180	180	mg/l
	13.77	9.32	kg/día

A la entrada a la fosa se prevé la construcción de un compartimento de recepción de las aguas residuales y un by-pass para evacuar las aguas residuales sin otro tratamiento que un desbaste en el caso de parada de la fosa. Para ello se dispone de una compuerta con tajadera manual y una reja con paso de 3 cm.

A la salida de la fosa séptica se diseña una arqueta de control desde la que parten dos tuberías que entran a sendos lechos en los que se divide el humedal, lo que permite su alimentación independiente, pudiendo funcionar alternativa o simultáneamente en función de las condiciones de explotación. Desde esa misma arqueta también se abre la posibilidad de evacuar directamente al cauce receptor en caso de interrupción de las operaciones en el humedal.

Humedal artificial

Se proyecta un humedal de flujo sub-superficial horizontal. Los parámetros adoptados son:

Caudales	VERANO	INVIERNO	
Caudal medio	3.19	2.16	m^3/h
Caudal punta	7.97	5.39	m^3/h
	76.50	51.75	$\text{m}^3/\text{día}$
Contaminación entrada			
DBO_5 entrada	12.85	8.69	kg/día
	168.00	168.00	mg/l
SST entrada	13.77	9.32	kg/día
	180.00	180.00	mg/l
Contaminación salida			
DBO_5 efluente	1.91	1.29	kg/día
	25	25	mg/l
SST efluente	2.68	1.81	kg/día
	35	35	mg/l

En el caso que nos ocupa, considerando la formulación propuesta en el Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones, obtenemos:

Temperaturas de diseño			
Temperatura de diseño	18.00	10.00	$^{\circ}\text{C}$
Constante de reacción K_r a 20°C	1.104	1.104	1/d
Coefficiente de temperatura (Tabla 6.8 Manual)	1.06	1.06	
Constante de reacción K_t	0.983	0.616	1/d
Dimensionamiento			
Porosidad del medio	0.35	0.35	
Calado del humedal	0.60	0.60	m
$K_A = K_T \times h \times \varphi$	0.206	0.129	
Área de humedal requerida	706.32	761.55	m^2
Area de humedal adoptada	1 400.00	1 400.00	m^2
Carga orgánica aplicada	9.18	6.21	$\text{gr/m}^2.\text{día}$

La carga orgánica recomendada por la EPA (United States Environmental Protection Agency) debe estar comprendida entre 6.75 y 15.70 $\text{gr/m}^2.\text{día}$, por lo que podemos dar por válido el dimensionamiento del humedal.

Con el objeto de aprovechar completamente las parcelas afectadas se adapta la geometría del humedal a la superficie de las mismas, con lo que finalmente la superficie del humedal será de 1.455 m², dividiéndose en dos lechos de 741 y 714 m² para facilitar las labores de mantenimiento y explotación.

Tras el paso de las aguas residuales a través del sustrato filtrante del humedal, se recogen en unos drenes que desaguan a la arqueta de control de salida, donde se dispone una tubería en vertical y de altura variable que sirve para regular el nivel del agua dentro del humedal.

El vertido final del efluente se realiza al río Cárdenas a través de un colector de PVC que finaliza en una arqueta de control a la que también llega la conducción del bypass.

Todo el proceso se realiza descendiendo las aguas por gravedad, según el esquema y las cotas reflejadas en el plano correspondiente que se incluye en el Documento nº 2 del proyecto.

3.- CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL COLECTOR GENERAL

Se analiza en este apartado la capacidad hidráulica del colector general proyectado. El colector de saneamiento se diseña para funcionar por gravedad con circulación del agua en régimen libre (sin presión) y con capacidad suficiente para transportar un caudal punta de lluvias.

Para la comprobación hidráulica se considera suficiente con demostrar que es capaz de desaguar un caudal punta de lluvias 5 veces superior al caudal punta de aguas negras. Como se ha indicado en apartados anteriores, el caudal punta de aguas residuales es $Q_p = 7,97 \text{ m}^3/\text{h} = 2,21 \text{ l/s}$ y el caudal máximo de lluvias 11,05 l/s.

El colector se ha diseñado según los criterios siguientes:

- La tubería será de hormigón de sección circular de 400 mm de diámetro interior.

- La altura máxima de la lámina de agua permitida será el 80% de la altura total de la sección, para garantizar el correcto funcionamiento en lámina libre (en nuestro caso, para un diámetro 400 mm correspondería un calado máximo de 32 cm).
- La velocidad máxima de circulación del agua no superará los 5,0 m/s para el máximo caudal de diseño (caudal punta de lluvias).

El cálculo hidráulico se realizará con la hipótesis de transporte en lámina libre y en régimen uniforme. Para el dimensionamiento se utiliza la ecuación de continuidad donde:

v: velocidad media de circulación del agua

S: Superficie mojada

y la fórmula de Manning-Strickler para el cálculo de las pérdidas de carga continuas:

donde:

J : pendiente de pérdidas de carga que en régimen uniforme coincide con la pendiente de la tubería.

n : número de Manning (rugosidad). Se adopta $n=0,015$ para las tuberías de hormigón.

v : velocidad media de circulación del agua

Rh: radio hidráulico

Siguiendo la metodología y los criterios de diseño indicados se procede a la comprobación de la capacidad hidráulica de la tubería proyectada. El caudal punta de lluvias (0,011 m³/s) se asigna a la cabecera del colector.

La pendiente del colector proyectado es del 0,64%, igual en todos los tramos dispuestos entre pozos de registro.

Con esta pendiente y un caudal punta de lluvias de 0,011 m³/s se obtiene:

Calado = 0,075 m (7,5 cm)

$R_h = 0,045$ m

$v = 0,68$ m/s

A la vista de estos resultados se justifica sobradamente la capacidad hidráulica de la tubería proyectada.

A título meramente informativo se incluye a continuación el dato de la capacidad máxima de la tubería para la pendiente proyectada. El caudal máximo que puede circular por ella es de 0,155 m³/s y se alcanza con un calado de 37,5 cm y velocidad de 1,27 m/s.