

Trabajo Fin de Grado
Ingeniería Química Industrial

**Mejora de las estaciones depuradoras de
aguas residuales urbanas compactas**

Carlos Agustín Vera Hernández

06 de junio de 2021

INDICE

- I. Resumen / Abstracts,3
- II. Antecedentes,6
- III. Análisis de las plantas compactas existentes, 10
- IV. Objetivo, 22
- V. Metodología, 23
- VI. Soluciones propuestas,24
- VII. Conclusiones,45
- VIII. Bibliografía,51

I. Resumen

El presente Trabajo de Fin de Grado, se plantea como una optimización de las plantas depuradoras de aguas residuales compactas actuales, para aumentar el rendimiento de la depuración de las aguas residuales urbanas, reducir el consumo energético, minimizar las molestias a terceras personas y garantizar el cumplimiento de la legislación vigente.

Se excluyen del presente estudio las fosas sépticas y las fosas sépticas con filtro biológico, aunque son muy empleadas en Canarias para pequeñas edificaciones, resulta imposible abordar la optimización de las mismas en el presente Trabajo Fin de Grado.

Las mejoras se plantean en todas las etapas de la depuración del agua residual compacta: pretratamiento, tratamiento secundario y desinfección. Los tipos de mejoras planteadas corresponden a:

- Cambios en los diseños de las plantas compactas.
- Optimización del proceso de depuración de aguas residuales urbanas.
- Mejoras de la automatización y comunicación con la planta.
- Toma de datos y explotación de los mismos.

Las mejoras del proceso de depuración de aguas residuales en estaciones compactas, tendrán en cuenta los requisitos establecidos en la legislación vigente.

Las mejoras se proponen desde la experiencia profesional del autor del presente Trabajo de Fin de Grado, como proyectista, instalador y explotador de plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas compactas en la isla de Tenerife. Siendo conocedor de los problemas que tienen este tipo de instalaciones y del comportamiento de sus usuarios finales. Además de los distintos problemas que surgen con el transcurso del tiempo.

La difusión de las mejoras propuestas al tejido empresarial debería ser la última etapa del presente trabajo fin de grado, al objeto de implementarlas y aumentar el rendimiento de los actuales equipos de depuración compacta. Sin embargo, esta tarea no se aborda en este Trabajo Fin de Grado.

Abstract

This Final Degree Project is proposed as an optimization of the current compact wastewater treatment plants, in order to increase the performance of urban wastewater treatment, reduce energy consumption, minimize the inconvenience for society and ensure compliance with current legislation.

Septic tanks and septic tanks with biological filters are excluded from the present study, although they are widely used in the Canary Islands for small buildings, it is impossible to approach their optimization in this Final Degree Project.

Improvements are made in all stages of compact wastewater treatment: pre-treatment, secondary treatment and disinfection. The types of improvements proposed correspond to:

- Changes in the designs of compact plants.
- Optimization of the urban wastewater treatment process.
- Improvements in automation and communication with the plant.
- Data collection and exploitation thereof.

Improvements in the wastewater treatment process in compact stations will take into account the requirements established in current legislation.

The improvements are proposed from the experience of the author of this Final Degree Project, as a designer, installer and operator of compact urban wastewater treatment plants

on the island of Tenerife, and being aware of the problems that these types of facilities have and the behaviour of their end users, as well as the different problems that arise over time.

The dissemination of the proposed improvements to the business fabric should be the last stage of this Final Degree Project, in order to implement them and increase the performance of current compact purification equipments. However, this task is not addressed in this Final Degree Project.

II. Antecedentes

La ausencia de saneamiento en núcleos urbanos y aislados de la población en Canarias, constituye un problema a solucionar con las aguas residuales urbanas generadas por la población. Las aguas residuales sin depurar durante años han sido enviadas a emisario submarino o pozo de vertido, pues se carecía de las infraestructuras necesarias para tratar estos vertidos. El presente trabajo de fin de grado estudia únicamente las depuradoras de aguas residuales que se emplean con anterioridad del pozo de vertido.

Antes del año 1994 la práctica habitual consistía en la evacuación de las aguas residuales sin depurar a través de un pozo de vertido, una perforación vertical ejecutada en terreno permeable. El 24 de agosto de 1994 entra en vigor el Reglamento de Control de Vertidos del Dominio Público Hidráulico (Gobierno de Canarias, 1994), obligando a depurar las aguas residuales, previo vertido. Las nuevas edificaciones quedan obligadas a la instalación de fosas sépticas y depuradoras de aguas residuales, comienza en el año 1995 la instalación de equipos compactos de tratamiento de aguas residuales.

La mayoría de los equipos compactos de tratamiento de aguas residuales urbanas, que se instalan en Canarias, están fabricados en plástico reforzado con fibra de vidrio y son importados. Con el paso de los años algunas estaciones depuradoras de aguas residuales que se ubican en edificios y pequeñas urbanizaciones son construidas en obra civil. Las fosas sépticas empleadas en pequeñas edificaciones también se importan del exterior. Sin embargo, algunas fosas sépticas se siguen construyendo en hormigón, ejecutadas por contratistas locales que carecen del conocimiento y experiencia adecuados, aportando rendimientos deficientes en la depuración de las aguas residuales.

La competencia existente en el mercado entre los distintos fabricantes, limita la rentabilidad del producto y en consecuencia el precio de los equipos. Limitando el uso de dispositivos adicionales tales como sondas, equipos de telecontrol y tratamientos terciarios, que podrían asegurar la adecuada depuración de las aguas residuales.

La ausencia del adecuado mantenimiento por personal cualificado y la escasa inspección de los equipos compactos de depuración de aguas residuales, provoca bajos rendimientos en los equipos de depuración modular. Se instalan fosas sépticas y depuradoras de aguas residuales con pretratamiento, tratamiento secundario y desinfección del agua tratada con hipoclorito sódico.

En el terreno peninsular se producen los mismos defectos y errores a la hora de implantar la depuración de aguas residuales urbanas en núcleos aislados, así se puede encontrar en la Guía Técnica para la gestión de las aguas residuales urbanas en pequeños núcleos mediante depuradoras compactas prefabricadas:

“La Asociación Española de Empresas del Sector del Agua – AQUA ESPAÑA decidió elaborar este documento tras tener constancia, en los últimos años, de un aumento de incidencias en los sistemas de depuración prefabricados, debido a errores en la selección, diseño y/o el mantenimiento de estos equipos. Y considerando el aumento de la demanda futura de estos equipos como soluciones sostenibles medioambientalmente.

Considerando lo anterior, esta guía se centra en los tratamientos intensivos realizados mediante equipos compactos prefabricados de responsabilidad privada.

El documento está dirigido a los profesionales del sector de las aguas residuales tales como: ingenierías, arquitecturas, consultorías medioambientales, instaladoras, constructoras, empresas de explotación y mantenimiento, así como a usuarios y/o propietarios. Y también a profesionales de la Administración Pública responsables de agua y vertidos a cauce público. Es decir, a todo aquel que tiene responsabilidad en legislar el marco de actuación, y a quienes deben seleccionar, prescribir, dimensionar y/o comprar un equipo. Porque cuanto más informados estén todas las partes implicadas mejores soluciones habrá.

Se agrega el punto de vista de la Conferencia Hidrográfica del Duero al respecto de la depuración de las aguas residuales urbanas en pequeñas poblaciones:

Disponer de agua de calidad es esencial para la salud humana, la protección del medio ambiente y el desarrollo económico. Por ello, la depuración de las aguas residuales se convierte en necesidad ineludible. Es esta además una responsabilidad de todos los ciudadanos y una obligación legal de la que participamos todas las Administraciones Públicas, cada una en su ámbito competencial.

Lograr este objetivo no es sin embargo fácil en la cuenca del Duero, caracterizada por el elevado número de pequeños núcleos rurales, dispersos por un amplio territorio con importantes valores naturales. Las limitaciones técnicas y económicas de estos municipios comprometen la eficacia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales urbanas, al menos la de los sistemas de tecnologías convencionales.

No obstante, abordar con éxito la depuración de estos núcleos no es hoy un problema técnico: las habitualmente llamadas tecnologías no convencionales o de bajo coste han sido ya probadas con éxito y existen numerosos manuales que las exponen con rigor. La Confederación Hidrográfica del Duero entiende que el auténtico reto está, primero, en la concienciación de los ciudadanos y de sus gestores municipales y, segundo, en la correcta elección de la tecnología más adecuada a cada población. Con estos dos objetivos este Organismo ha puesto ya en marcha dos proyectos: el proyecto Escuela de Alcaldes y el de Tratamientos singulares de carácter experimental de vertidos en pequeñas poblaciones de la cuenca del Duero. El primero pretende facilitar formación e información sobre diversas cuestiones relacionadas con la gestión del agua a ediles y técnicos municipales. El segundo plantea, mediante la ejecución de sistemas concretos, soluciones tecnológicas asumibles por parte de un pequeño municipio para la depuración de sus aguas residuales, no sólo desde el punto de vista del coste de inversión, sino también, y lo que es más importante, desde el punto de vista del mantenimiento y la explotación.

Para complementar estos dos proyectos se presenta ahora esta breve publicación, eminentemente divulgativa. Su ánimo no es otro que prestar apoyo a los pequeños municipios de la cuenca del Duero, concienciando a sus vecinos de la necesidad de depurar sus aguas residuales asumiendo su coste y ayudando a los responsables municipales a encontrar la solución

que mejor encaje con su concreto problema de depuración. Apostamos por estas iniciativas como ejemplo de lo que creemos que debe ser la colaboración interadministrativa entre la administración hidráulica y la local, aprovechando sinergias en la búsqueda de soluciones de depuración en el ámbito rural que sean realmente viables desde el punto de vista técnico, económico y ambiental. Sólo con un compromiso conjunto y decidido de ciudadanos y Administraciones llegaremos a ese objetivo del buen estado ecológico que nos demanda la Directiva Marco del Agua, y no porque lo imponga la Unión Europea, sino por la convicción de que ese es el camino que permitirá, a través de la mejora sustancial de nuestro patrimonio natural, asegurar la sostenibilidad del desarrollo de nuestros municipios.

III. Análisis de las plantas compactas existentes

El presente trabajo fin de grado aborda la optimización de las depuradoras de aguas residuales urbanas compactas, sin embargo, excluye las fosas sépticas compactas. Se analizan las EDARs (estaciones depuradoras de aguas residuales) compactas, etapa por etapa.

A continuación, se comienza con el análisis de cada una de las etapas de la depuración, que se emplean en las depuradoras de aguas residuales urbanas compactas.

III.1 Pretratamiento

El pretratamiento consiste en una reja de desbaste manual y un separador de grasas por flotación instalado antes de la estación depuradora de aguas residuales.

La **reja desbaste manual** se instala para retener los sólidos gruesos y flotantes que llegan con el agua residual. La separación existente entre las barras de la reja de desbaste se denomina, luz de la reja. Como valor medio, se fabrican rejas de desbaste con una luz de reja de 20 mm. La reja de desbaste manual se coloca inclinada en el interior de una arqueta prefabricada en plástico reforzado con fibra de vidrio o en una arqueta construida en obra civil, en muchos casos estas arquetas no están construidas con hormigones y morteros resistentes a los sulfatos. Cuando la obra finaliza esta arqueta queda enterrada bajo el pavimento.

Funcionamiento de la reja de desbaste:

- El afluente llega a la arqueta de desbaste cargada con sólidos que acompañan al agua residual, el aumento de la sección de paso hace que el agua descienda de velocidad bruscamente.
- Los sólidos mayores que la luz de paso son retenidos sobre la reja de desbaste.
- El agua residual con sólidos de tamaño inferior a la luz de paso de la reja de desbaste continua su trayecto hacia el separador de grasas.

La reja de desbaste manual se fabrica en distintos materiales, PVC, acero al carbono galvanizado, acero inoxidable AISI 304 y acero inoxidable AISI 316.

Cuando las rejas de desbaste están fabricadas en PVC tienen muy buena resistencia a la corrosión, propia de este tipo de instalaciones, pero una resistencia baja a la compresión, porque se usan espesores de material insuficientes, de modo que cuando se acumulan residuos en exceso suelen romperse. Sin embargo, los costos de fabricación son inferiores al de otras rejas de desbaste.

Las rejas de desbaste fabricadas en acero al carbono galvanizado tienen mayor resistencia mecánica, siendo adecuados espesores de material a partir de los 4 mm. Su resistencia a la corrosión es peor, en consecuencia, pueden aportar metales al proceso de depuración. Tienen costos de fabricación menores al acero inoxidable y mayores que el PVC.

El acero inoxidable es la alternativa más cara de implantar, sin embargo, tienen muy buena resistencia al impacto y a la compresión a partir de 4 mm. Además, la resistencia a la corrosión es formidable.

En las depuradoras instaladas en Tenerife, se rompe la reja de desbaste porque se limpian con baja frecuencia y en consecuencia se produce el paso de sólidos al interior de la depuradora de aguas residuales. Reduciendo la eficacia del proceso de depuración. Esta circunstancia se produce frecuentemente en las rejas de desbaste que se instalan en Canarias.

El aumento de la luz de la reja de desbaste hace decrecer las cantidades de sólidos o residuos de desbaste a gestionar y se incrementa los kilogramos de sólidos que entran al proceso de depuración. Aportando mayores valores de sólidos no disueltos y DBO₅ no disueltos. Provocando un aumento de los valores del agua residual depurada.

Para el adecuado uso de la reja de desbaste se recomienda que no esté anclada al interior de la arqueta, para facilitar la limpieza de la arqueta de desbaste en todos sus puntos.

Si las aguas pluviales están conectadas a través de la reja de desbaste, será necesario verificar el estado de la reja de desbaste después de lluvias torrenciales.

Es importante llevar a cabo una limpieza frecuente de la reja desbaste para evitar la aparición de procesos anaerobios y los malos olores.

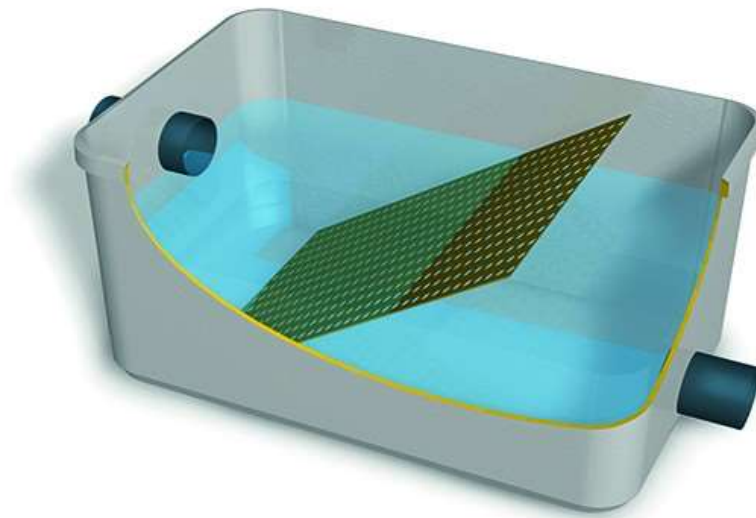


Figura 1. Reja de desbaste manual

Los separadores de grasas, retienen la grasa por flotación, pues las tuberías de entrada y salida del separador de grasas tienen distinta cota. La ausencia de mantenimiento hace que se acumulen grasas en exceso y estas pasen al proceso de depuración.

La ausencia de sensores de nivel para indicar el momento del llenado del separador de grasas y la necesaria retirada de grasas, junto con la ausencia del adecuado mantenimiento en este tipo de instalaciones hace que se acumulen demasiadas grasas en el interior del separador de grasas, provocando la aparición de malos olores en el saneamiento y no se debe a un problema de diseño de la instalación.

La acumulación excesiva de grasas en los separadores de grasas provoca que estas continúen al tratamiento biológico, provocando el descenso del rendimiento en el tratamiento secundario.

El uso de tapas de fundición, empleadas en el saneamiento residencial, sin estanqueidad provoca que los gases generados en procesos anaeróbicos salgan fuera del pretratamiento. Además, el uso de redes unitarias para la canalización de las aguas residuales y pluviales, provoca el retroceso de los gases generados en los procesos anaerobios.

Es necesario destacar que la gestión de estos residuos debe ser realizada por un gestor de residuos especializado, autorizado por la administración como gestor de residuos no peligrosos. Este requisito legal si lo suelen cumplir los gestores de residuos.

El titular y dueño de la instalación debe estar registrado en el Gobierno de Canarias como productor de residuos no peligrosos, así se podrán registrar las retiradas por los Gestores de Residuos. Este requisito no lo suelen cumplir los titulares de las instalaciones.

III.2 TRATAMIENTO PRIMARIO

Las depuradoras de aguas residuales compactas instaladas en Canarias, carecen de sistema de tratamiento primario, pues éste no es requerido poner la administración y el promotor de edificación no se decanta a instalarlo. Por otro lado, los fabricantes de las depuradoras de aguas residuales compactas no las ofertan.

III.3 TRATAMIENTO SECUNDARIO

III.3.1 REACTOR BIOLÓGICO

Los tratamientos secundarios de las depuradoras compactas de aguas residuales urbanas instaladas en Tenerife, son de los tipos:

1. Reactor biológico de aireación prolongada y decantador secundario, empleando burbuja gruesa y eyector sumergible.

2. Reactor biológico de aireación prolongada y decantador secundario, empleando burbuja fina, parrilla de difusores y soplante de canal lateral.

Esta etapa de la depuración es la más importante, donde se produce realmente la depuración de las aguas residuales urbanas. El oxígeno aportado por la soplante o el eyector sumergible alimentan las bacterias presentes en el reactor biológico.

Factores que modifican y alteran el reactor biológico:

- **Sólidos y grasas en el reactor biológico:** La acumulación en exceso de sólidos en la reja de desbaste y el separador de grasas hace que estos se pasen al reactor biológico, provocando un descenso en la eficacia del proceso de depuración.
- **Acumulación de fangos:** estas depuradoras de aguas residuales carecen de purgas de fangos en decantadores secundarios, esto provoca la acumulación de los fangos y un descenso en el rendimiento de la depuración. Finalmente, los fangos se flotan y salen del decantador junto con al agua residual depurada. Provocando un descenso del rendimiento de la depuración.
- **Aireación ineficiente:** en determinados reactores biológicos se produce una aireación ineficiente debido a la rotura de la parrilla de difusores, de modo que en determinadas partes del reactor las burbujas finas pasan a ser burbujas gruesas y no se alcanza la cantidad recomendada de oxígeno disuelto 0,9 mg/l.

Las averías en los soplantes de canal lateral, situadas en el exterior del reactor biológico también producen descensos en el rendimiento de la depuración, pues debido a la ausencia de supervisión por los usuarios o empresas mantenedoras con la frecuencia necesaria, normalmente se detecta la avería cuando hay un fuerte mal olor, causado por procesos anaerobios.

En otros casos son las averías en los eyectores sumergibles los que producen procesos de depuración en reactores biológicos ineficientes:

El **eyector sumergible** está formado por una bomba sumergible para agua residual, que tiene en su impulsión una lanza de mezcla de distintas secciones. El paso del agua a través de este Venturi, produce la aspiración del aire exterior y la impulsión de una mezcla de burbujas gruesas de aire y agua.

El uso de eyector sumergible implica las siguientes ventajas:

1. Una instalación mucho más rápida, pues no hay que instalar parrilla de difusores de burbuja fina.
2. Se evitan vaciados del reactor biológico para la reparación de difusores de burbuja fina.



Figura 2. Eyector sumergible

El uso de estos equipos supone diversas desventajas:

1. Incremento del consumo eléctrico y de la potencia instalada, con respecto al so-
plante de canal lateral.
2. La presencia de sólidos de gran tamaño en el reactor biológico, derivados por un
desbaste deficiente, producen atascos frecuentes del rodete del eyector sumergible, provo-
cando la parada del eyector debido al quemado del bobinado eléctrico o por el disparo de la
protección eléctrica. Estas paradas en la aireación del reactor biológico suponen la muerte
masa microbiana que se encuentra en el reactor biológico y la presencia de malos olores en
el interior de las edificaciones donde se encuentra instalada la depuradora de aguas residua-
les.
3. La aspiración de aire del exterior produce un zumbido, el cual puede llegar a ser
molesto durante la noche, para los vecinos que habitan en las plantas más cercanas a la esta-
ción depuradora de aguas residuales.
4. Debido al frecuente atasco del Venturi o la reparación del eyector sumergible es
necesario el izado del eyector sumergible, el peso de este equipo y la normativa española
sobre la manipulación de cargas, implica la obligación legal de instalar polipastos para sacar
los eyectores sumergibles del interior de los reactores biológicos.

Cambios de temperatura en el reactor biológico:

Durante los veranos en Canarias los usuarios de las depuradoras de aguas residuales urbanas, manifiestan más quejas e incidencias, el aumento de las temperaturas provocan un aumento de los gases que se producen en el interior de las depuradoras de aguas residuales, en las etapas que están paradas y cuando el reactor biológico está parado.

Para evitar el retorno de malos olores hacia el inicio de la instalación y en consecuencia hacia usuarios del edificio es muy importante el adecuado uso de la extracción de aire, de modo que se conecta a la instalación de ventilación que está asociada a la instalación de fon-
tanería del edificio. En muchas ocasiones el constructor y promotor de la obra acomete defi-
cientemente esta unidad de obra.

III.3.2. DECANTADOR SECUNDARIO

Los fangos del reactor biológico pasan a través de una tubería de PVC al decantador secundario, siendo fundamental la profundidad a la cual salen los fangos en el decantador secundario, pues no debe ser demasiado muy profundo para evitar levantar los fangos del decantador secundario y debe tener la profundidad suficiente que permita la sedimentación de los fangos.

Los decantadores de las EDARs compactas en muchas ocasiones carecen de vertederos tipo Thomson, de modo que el agua residual urbana abandona el decantador secundario cuando la lámina de agua alcanza la tubería de salida del decantador.



Figura 3. Vertedero Thomson en un decantador secundario.

Esta circunstancia provoca que aumenten los sólidos en suspensión en el agua residual depurada.

Debido al diseño de las EDARs compactas. Son cilindros de Poliéster reforzado de fibra de vidrio. El fondo del decantador secundario tiene forma de círculo. Diferente al clásico diseño tronco-cónico. Esta circunstancia hace que disminuya el rendimiento de la decantación. Se emplean como ratio en la decantación $5 \text{ m}^2 / (\text{m}^3 / \text{h})$

Las EDARs compactas tienen un decantador secundario con bomba sumergible de recirculación, cuya misión es recircular los fangos desde el decantador secundario al reactor

biológico. Para mantener en el reactor secundario una concentración de 4 mg/l SSLV. Es importante elegir adecuadamente la bomba y sobre todo el impulsor de la mencionada bomba.

Las bombas de aguas residuales compactas se instalan en ocasiones suspendidas de una tubería de PVC PN 10, lo cual implica que para el mantenimiento esta bomba, es necesario levantar la tubería y la propia bomba, lo cual complica la operación de mantenimiento. Se incrementa el peso a levantar y el personal necesario para acometer la maniobra.

La instalación de las bombas sumergibles con tubo o cable guía, implica que la tubería de impulsión se mantiene fija en el interior del decantador y para el mantenimiento sólo es necesario levantar la propia bomba. De modo que el agua impulsada se canaliza a través de un pie de bomba que está acoplado a la tubería de impulsión. Este es el método óptimo de instalar la bomba de recirculación de un decantador secundario. En muchas ocasiones se emplean cadenas de acero galvanizado para el izado de la bomba, debido al ambiente corrosivo que existe en el interior del decantador secundario, este material sufre un avanzado estado de corrosión, pasados dos años. Es muy importante emplear cadenas de acero inoxidable AISI 306.

Otro factor fundamental en las bombas de recirculación de los decantadores secundarios, es el impulsor empleado en la propia bomba. Es fundamental contemplar un paso de sólidos mayor de 60 mm y emplear un impulsor monocanal. En determinadas ocasiones se emplean bombas que no cumplen con estos requisitos, las cuales sufren frecuentes averías entre las que destaca el quemado del cobre del estator del motor de la bomba de recirculación. Si se quiere evitar esta frecuente avería, es fundamental emplear adecuadamente las protecciones eléctricas. Usando protecciones eléctricas magnetotérmicas regulables, en las cuales se puede seleccionar la intensidad de la corriente eléctrica a la cual se produce el disparo de la protección eléctrica, de esta forma cuando la bomba de recirculación se atasca y el motor consume una intensidad por encima de la nominal, se produce el disparo de la protección eléctrica y se evita el quemado del estator del motor.

Debido a que el decantador secundario siempre está lleno, se puede evitar el uso de boyas de nivel, las cuales en muchas ocasiones vienen integradas con la propia bomba.

Además, para el adecuado uso de la bomba sumergible es importante seleccionar la bomba teniendo en cuenta que trabaja en el punto óptimo de rendimiento de la curva, de modo que se minimiza el consumo eléctrico.

Son averías frecuentes en las bombas de recirculación:

1. Quemado del estator del motor, debido a una mala regulación de la protección eléctrica.

2. Fallo del cierre mecánico de la bomba, debido al desgaste, provocando el disparo de la protección eléctrica diferencial.

3. Paro de la bomba sumergible, debido al atasco del impulsor, siendo necesaria la visita de un operario de mantenimiento para solucionar el problema.

4. Fallo de la sonda de nivel que está incorporada a la bomba, la cual no es necesario pues el decantador secundario siempre está lleno. Sólo se justifica en el caso del vaciado del decantador secundario, para estas ocasiones basta con el paro en el cuadro eléctrico.

5. Fallo en el circuito de maniobra o fuerza en el cuadro eléctrico.

Para el adecuado mantenimiento preventivo de estas bombas no se emplean elementos en el cuadro eléctrico que registre el número de horas de funcionamiento, de modo que el técnico de mantenimiento carece de la información necesaria para poder diseñar un plan de mantenimiento preventivo.

Para detectar que estas averías de manera temprana, en estas instalaciones que tienen escasa presencia de personal de mantenimiento, se puede emplear dispositivos de tele control a distancia, sin embargo, no se emplean debido al coste económico y a la competencia en precios que se presenta en el mercado.

III.4 DESINFECCIÓN

Para la desinfección del agua **residual** depurada se emplea hipoclorito sódico comercial al 33%, esta medida se emplea para evitar la presencia de microorganismos patógenos en el agua residual depurada y así cumplir la normativa vigente para el vertido de aguas residuales depuradas al dominio público terrestre.

La práctica habitual consiste en la instalación de una bomba dosificadora tipo membrana, usualmente de 14 l/h a 4 bar. Un depósito acumulador de 100 l de polietileno, sin cubeto de retención. De modo que se incumple la normativa vigente el almacenamiento de productos químicos, pues es necesario la instalación del cubeto de retención.

Las bombas dosificadoras de membranas presentan un problema cuando se instalan en edificios residenciales, de modo que si la sala de máquinas destinada para la depuradora de aguas residuales, no está insonorizado y está cerca de la residencia de los vecinos, durante las noches estos escuchan los golpes de la membrana en la bomba dosificadora.

III.5 POZO DE VERTIDO

En las zonas de la isla de Tenerife donde no existe saneamiento público siempre se han evacuado las aguas residuales urbanas a través de pozos de vertido, ejecutados en terreno volcánico permeable. Tras la entrada en vigor del Reglamento de Control de Vertidos del Dominio Público Hidráulico (Gobierno de Canarias, 1994), las aguas residuales que se vierten a los pozos de vertido se empiezan verter depuradas.

El funcionamiento y operación de los pozos de vertido de aguas residuales urbanas depuradas en Tenerife, presentan varios problemas, los cuales pasamos a describir:

1. La deficiente depuración de las aguas residuales urbanas provoca el vertido de sólidos, grasas, fangos y residuos fecales a los pozos de vertido. Si esta situación se prolonga en el tiempo puede provocar la colmatación de los pozos de vertido, provocando el vertido de

las aguas residuales urbanas al entorno más cercano y dejando fuera de servicio el saneamiento de la edificación que esté conectada.

2. La mala ejecución de los pozos de vertido, sin el desalzo adecuado del terreno provocan el mal funcionamiento de los mismos, pues no son capaces de asumir las aguas de vertido.

3. La conexión de las aguas pluviales a los sistemas de depuración compactos provocan que estas colapsen puntualmente los sistemas de depuración y los pozos de vertido, pues los pozos de vertido se dimensionan únicamente para las aguas residuales urbanas depuradas. Esta circunstancia supone el vertido descontrolado de las aguas residuales urbanas e incluso en algunos casos el retorno de las aguas residuales a las viviendas de los usuarios conectados al saneamiento.

4. Ocasionalmente en el interior de los pozos de vertido se generan corrientes de aire que retornan hacia el saneamiento, los sistemas de depuración y las edificaciones existentes.

5. La ejecución de pozos de vertido de aguas residuales urbanas poco profundos, cerca de edificaciones anexas y permeables hacia los laterales del pozo, pueden suponer el vertido de las aguas residuales a otras edificaciones o terrenos anexas. Especialmente cuando el pozo deja de ser permeable en su cota inferior, las aguas residuales se vierten en los terrenos anexas a través de la caña del pozo de vertido.

IV. Objetivo

El presente trabajo de fin de grado tiene como objetivo la propuesta de mejoras en los sistemas de depuración compactos de aguas residuales urbanas, las cuales abarcan todas las etapas de la depuración: pretratamiento, tratamiento secundario y desinfección.

Las mejoras comprenderán la selección de los equipos electromecánicos, los tamaños y dimensiones de las depuradoras de aguas residuales compactas, el control y la automatización, además de los datos generados en estos sistemas.

V. Metodología

Durante años el redactor de este trabajo fin de grado ha construido, suministrado y explotado estaciones depuradoras de aguas residuales compactas, en las cuales ha podido constatar problemas y defectos en el diseño de las mismas. Además, la percepción de los clientes sobre las molestias que sufrían en las edificaciones que tenían estos equipos instalados, ha aportado otro punto de vista alternativo, agregando nuevos defectos y modificando la importancia de los mismos.

Tras reflexionar y comentar con compañeros de profesión los defectos constatados, el redactor de este Trabajo Fin de Grado ha seleccionado los defectos más importantes, para los cuales propone soluciones.

Las soluciones propuestas para los problemas seleccionados por el autor de este Trabajo Fin de Grado, pretenden mejorar la calidad del agua residual urbana depurada, aumentar el confort de los usuarios de las depuradoras de aguas residuales compactas y cumplir la legislación vigente. Las soluciones se han obtenido después de consultar bibliografía especializada, recopilar la información de pruebas realizadas en campo y una detenida reflexión durante la redacción de este Trabajo Fin de Grado.

Las mejoras abarcarán la selección de los equipos electromecánicos, los tamaños y dimensiones de las depuradoras de aguas residuales compactas, el control y la automatización, además de los datos generados en estos sistemas

VI. Soluciones propuestas

VI.1 Mejora de los sistemas de desbaste manuales

La mejora de esta fase del tratamiento del agua residual urbana en plantas compactas de tratamiento de aguas residuales es tan importante que condiciona el resto de las etapas, pues la ausencia de sólidos de gran tamaño en la planta. Incrementa exponencialmente su rendimiento y posibilita llegar a los objetivos marcados en la legislación vigente.

Sin embargo, es un equipo tan sencillo y a la vez necesario, que resulta difícil mejorarlo sin incrementar excesivamente el precio. Una alternativa clara y adecuada sería el desbaste automático del agua residual que llega a la planta. Sin embargo, se incrementaría excesivamente el costo de la planta y dejaría de ser competitiva.

Uno de los problemas más comunes en las rejas de desgaste de las plantas de tratamiento de aguas residuales compactas, lo constituye la colmatación de la reja debido a la excesiva presencia de sólidos de gran tamaño. Provocada por el mal uso del saneamiento colectivo en las edificaciones, usando el saneamiento como una papelera. Estos excesos de sólidos al principio de la planta provocan en muchas ocasiones la obstrucción del saneamiento, pues no se realiza la gestión de residuos con la periodicidad necesaria.

La instalación de sondas de nivel en el interior de las rejas de desbaste supondría una mejora de bajo coste, para las depuradoras de aguas residuales compactas.

Así se podría conocer cuando aumenta excesivamente el nivel del agua en las rejas de desbaste manual, aportando un aviso al usuario de la instalación para que gestione el problema a la mayor brevedad posible y antes que se produzca un vertido de agua fecal el interior del edificio.

La reducción de la luz de la reja de desbaste a 5 mm supondría un aumento de los sólidos recogidos en la reja de desbaste y un incremento en el rendimiento de la depuración.

Sin embargo, incrementaría la gestión de residuos de la planta de tratamiento de agua residual compacta, transfiriendo el coste del inmovilizado a los costes de operación.

La conexión de la reja de desbaste a un sistema de desodorización instalado supondría una mejora en la gestión de los olores de las plantas de tratamiento de agua residual compacta, sin embargo, incrementaría demasiado el coste al hacerse necesario un el sistema de desodorización mediante carbón activo.

VI.2 Separadores de Grasas

Se aborda la mejora, optimización y adecuado dimensionamiento del separador de grasas de un sistema de depuración compacto, según establece el Código Técnico de la Edificación (Ministerio de la Vivienda, 2006), las normas UNE 1825-1:2005 que engloba los principios de diseño, características funcionales, ensayos, marcado y control de calidad de los separadores de grasas. Además, se contempla la norma UNE-EN 1825-2:2005, la cual abarca la selección del tamaño nominal del separador, su instalación, funcionamiento y mantenimiento.

Estas normas se aplican a los separadores de grasas que se utilizan para la separación de las grasas y los aceites de origen vegetal y animal existentes en las aguas residuales urbanas. Empleando la gravedad y la flotación, sin la aplicación de ningún tipo de energía exterior. Diseñados para tratar la totalidad de las aguas residuales urbanas que existen que en una edificación o urbanización. Estas recomendaciones en los diseños no se aplican a los separadores de aceites que se instalan en las cocinas que tienen actividad hotelera.

Las partes que forman los separadores de grasas a dimensionar son: el colector de lodos, el área de separación de grasas, las conducciones de entrada y salida, además de las líneas de venteo.

Funcionamiento:

El separador de grasas es un elemento esencial en el tratamiento de las aguas residuales que puedan contener un aporte considerable de grasas de origen animal o vegetal. Las aguas cargadas, de grasas y detergentes, penetran en el interior del separador, donde las detiene un tubo acodado y sumergido. El agua se separa de la grasa gracias a la diferencia de densidades, dando lugar a dos fases: las grasas y los detergentes más ligeros que el agua, suben a la superficie y el agua limpia de grasas, sale del equipo por la zona intermedia, tras pasar por la tubería acodada de salida. Los sólidos pesados se decantan en el fondo de la cámara. Las grasas acumuladas deberán retirarse periódicamente por la boca de registro superior. Su frecuencia viene determinada por el grado de utilización y por el caudal de agua a tratar, a mayor caudal, mayor cantidad de grasas a separar, siendo una adecuada frecuencia media de mantenimiento cada tres meses.

Accesibilidad

Todas las partes del separador de grasas deben ser accesibles a efectos de inspección, ensayo, mantenimiento, eliminación de obstrucciones, retirada de grasas y de los residuos.

De acuerdo con el apartado 7.3 de la norma EN 124:1994, los separadores de grasas de tamaño igual o mayor que NS 4 deben tener al menos un punto de acceso.

Colectores de lodos

Los colectores de lodos se deben construir con un deflector de control de caudal situado detrás de la entrada, para reducir la velocidad del caudal y proporcionar un régimen de caudal uniforme.

Tapas de acceso

Los separadores de grasas deben estar equipados con tapas de acceso que sean conformes con la Norma EN 124:1994 o EN 1253-4:2017. Serán tapas estancas, evitando la salida de olores al exterior, empleando uniones roscadas en el caso de tapas de polietileno o tapas con uniones atornilladas y juntas para las tapas fabricadas en poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV).

Volumen de los separadores de grasas

Los distintos volúmenes del separador de grasas, varían en función del caudal de agua residual a tratar y están normalizados por la Norma UNE-EN 1825-1:2005, la cual utiliza el término tamaño nominal (NS), expresado en l/s, a partir del caudal máximo que entra en el l/s. El tamaño nominal se determina mediante la expresión:

$$NS = Q_s \times f_t \times f_d \times f_r$$

f_t , es un coeficiente dependiente de la temperatura del agua del afluente, está tabulado en la norma y para aguas con temperaturas inferiores o iguales a sesenta grados, tiene $f_t=1,0$

f_d , es el coeficiente de la grasa/aceite a separar. Este coeficiente se interpola de una gráfica en función de la densidad media de la grasa y/o aceites en el agua residual a tratar.

Para densidades menores o iguales a $0,94 \text{ gr/cm}^3$ se obtiene un $f_d=1,0$.

f_r , es un coeficiente dependiente de la influencia de los agentes de limpieza y aclarado.

Sus valores están tabulados, y en función del uso y naturaleza de los agentes detergentes y de aclarado. Para los detergentes domésticos usado ocasionalmente o siempre $f_r=1,3$.

Empleando esta fórmula podremos determinar el volumen del separador de grasas a instalar, siendo la fase de diseño muy importante a la hora de el buen desarrollo de la depuración de las aguas residuales.

Tuberías de entrada y salida del separador de grasas

Los diámetros mínimos nominales, DNmin, de las tuberías entrada y salida de agua residual, están tabulados en la tabla: 2.3 de la Norma UNE-EN 1825-1:2005.

Tamaño Nominal NS (l/s)	DNmin
Hasta NS=4	100
Por encima de NS 4 hasta NS 7 inclusive	125
Por encima de NS 7 hasta NS 10 inclusive	150
Por encima de NS 10 hasta NS 25 inclusive	200

Tabla 1. Diámetros mínimos de tubería en un Separadores de Grasas.

Desnivel

Para asegurar que no habrá retroceso de las aguas residuales, la diferencia entre el fondo de la tubería de entrada y el fondo de la tubería de salida tienen que tener un desnivel mínimo de 70 mm. Cuando exista una división entre el colector de lodos y la cámara de separación, el desnivel en el colector de lodos debe ser, al menos, de 50 mm y en la cámara de separación de grasas de al menos 20 mm.

Teniendo en cuenta la norma UNE-EN 1825-1:2005, en función del tamaño nominal de los separadores nos encontramos con diferentes desniveles. Cuanto mayor sea la altura del separador de grasas, mejor podremos distanciar la cota de la tubería de entrada y la tubería de la de salida, favoreciendo la salida del agua residual en ausencia de grasas.

Requisitos funcionales

El separador de grasas se debe construir de forma que facilite el flujo de las aguas residuales. En particular, el flujo a través del separador debe ser lo más uniforme posible. Los separadores de grasas pueden estar provistos con distintos dispositivos de aviso y otros equipos auxiliares. Como una mejora a implantar y que supondría una mejor gestión de las grasas que se generan en los separadores de grasas. Supone la instalación de una alarma de nivel máximo, avisando al usuario de la necesidad de retirar las grasas por un gestor autorizado.

Materiales

Aunque es posible fabricar los separadores de grasas en otros materiales, tales como el Polietileno, en este documento se propone fabricar el separador de grasas en plástico reforzado con fibra de vidrio, de acuerdo con los requisitos sobre materiales especificados en la norma UNE-EN 1825-1:2005. El laminado se debe construir utilizando resinas, material de refuerzo, agentes para el tratamiento y otros materiales que sean conformes con la Norma UNE-EN 976-1998.

Los separadores de grasas solamente deben ser sellados con materiales de sellado a base de elastómeros o de elasticidad permanente. Este punto es muy importante durante la fase de explotación de la estación depuradora de aguas residuales, pues un adecuado sellado del separador de grasas permite evitar molestias a los usuarios de la instalación.

Además, las juntas de caucho deben cumplir con los requisitos establecidos en la Norma EN 681-1:1996 y la dureza la misma no debe ser inferior a la establecida de acuerdo a la Norma ISO 48:2008.

Si en la superficie de los separadores de grasas se ha aplicado algún recubrimiento o revestimiento para la protección contra los efectos del afluente o de las condiciones del terreno. Entre las propiedades de los recubrimientos o revestimientos hay que tener en cuenta el espesor de la capa seca, la cual debe ser especificada por el fabricante del sistema, la resistencia al impacto que al menos debe ser de 4 N de acuerdo con la Norma 6272-1:2012 y la resistencia al rayado que al menos debe ser de 50 N de acuerdo con la norma UNE-EN 1329:2014 y la norma UNE-EN 1453:1:2017

Como una mejora frente a los modelos comerciales actuales. El separador de grasas estará conectado al sistema de extracción forzada de la estación depuradora de aguas residuales, empleando tuberías de ventilación fabricadas en PVC, siendo un material adecuado para este uso.

Las tuberías de entrada y salida del separador de grasas, serán de PVC. Conforme a la norma UNE-EN 1329-A:2014 y a la norma UNE-EN 1453:1:2017

Resistencia Química

Todos los materiales del separador de grasas, conforme a la norma UNE-EN 1825-1:2005, deben ser resistentes a las grasas de origen animal, vegetal y a los productos de su descomposición, a las sales reactivas a los detergentes y a sus productos de descomposición o deberán estar convenientemente protegidos a los mismos.

Marcado

Las tapas de los separadores de grasas deben estar marcadas con la palabra SG, junto con la clase de tapa, de acuerdo a la norma UNE-EN 124:1994. Además, en los separadores se deben fijar placas de características con un material duradero, por ejemplo, acero inoxidable en una posición donde sean claramente visibles.

La placa de características debe contener la siguiente información: UNE-EN 1825-1:2005, el tamaño nominal, el volumen del separador en litros o metros cúbicos, la capacidad de almacenamiento de grasa en milímetros, el año de fabricación, el nombre o marca comercial del fabricante y la marca del organismo de certificación.

Métodos de ensayo

El ensayo para unidades fabricadas en materiales plásticos, se debe realizar de acuerdo con las normas UNE-EN ISO 527-4:1997, EN ISO 14125:1997, EN ISO 180:2020, UNE-EN 976-1:1998.

Descripción de las etapas de los separadores de grasas

Los separadores de grasas propuestos en este Trabajo Fin de Grado, estarán formados por dos compartimentos integrados en el separador de grasas.

Cámara de sedimentación o colector de lodos: en esta primera etapa se produce el proceso de decantación de las partículas sólidas que entran en la alimentación como son arenas y otros elementos pesados. Con esto se consigue eliminar sólidos del afluente evitando el ensuciamiento de la cámara de separación de grasas.

Cámara de separación de grasas

El separador de grasas, que es el corazón del equipo como su propio nombre indica. Se canaliza agua bajo condiciones de régimen laminar donde la fase ligera se acumula en la superficie del separador y la fracción líquida, más pesada queda por debajo de esta.

En el dimensionamiento de la cámara de sedimentación será necesario tener en cuenta el tamaño medio de la parte de las partículas y conforme a la teoría de sedimentación y flotación de partículas ser capaces de establecer qué porcentaje de las mismas se alimentarán y cuál es flotarán.

El diseño de los separadores de grasas, tal y como se ha indicado, se realiza conforme a la norma UNE-EN 1825-1:2005. Hora de seleccionar el separador de grasas más adecuado semana el número de comidas al día aproximadamente que se esperan procesar.

En el dimensionamiento de los separadores de grasas, se establece el caudal máximo o caudal punta, el caudal medio y el caudal mínimo. Éstos valores cambian en función del número de comidas servidas y del uso del separador de grasas.

Es necesario tener en cuenta que las dimensiones del equipo deben ser competitivas y acordes al mercado actual. Un separador de grasas de alta eficiencia, por encima de los valores solicitados por el mercado y los usuarios, que tenga un volumen excesivo será difícilmente comercializable.

De acuerdo con el apartado 7.3 de la norma UNE-EN 124:1994, los separadores de grasas con tamaño igual o mayor a NS 4 deben tener al menos un punto de acceso.

Como mejora se propone una tapa de registro o boca de hombre en todos los separadores de grasas, independiente de su tamaño.

Ventilación

Los usuarios de los sistemas de depuración compactos manifiestan en repetidas ocasiones molestias asociadas a los malos olores, los cuales suelen estar generados por problemas con el mantenimiento del sistema de depuración y defectos en la instalación de los sistemas de depuración compactos.

Para el control de los olores se diseña la línea de venteo destinada a la ventilación del separador de grasas, para ello se tiene en cuenta la norma EN-12255-9:2002, la cual va dirigida, principalmente, a las plantas depuradoras de aguas residuales domésticas y para poblaciones superiores a 50 habitantes equivalente. Según esta norma, la posibilidad de generación

de olores debe tenerse en cuenta en las etapas iniciales del diseño de los trabajos de depuración de las aguas residuales, como puede ser la separación de grasas.

La ventilación del separador de grasas se debe independizar del sistema de ventilación del edificio para evitar retornos de gases desagradables. Es importante, reducir al mínimo el tiempo de retención, seleccionar los procesos cubiertos.

El separador de grasas se debe fabricar de manera que sea posible la ventilación entre la entrada y la salida.

La sección transversal de ventilación debe corresponder, al menos a la mitad del área de la tubería de entrada, o un diámetro mínimo de 110 mm. Para conseguir una buena ventilación del separador de grasas. Además, según la norma UNE-EN 1825-2:2002, Las canalizaciones conectadas a los separadores de grasas, a su vez estarán conectadas a chimeneas de ventilación. Estableciendo una red de ventilación independiente a la red de ventilación de la instalación de fontanería de la edificación. Si la dispersión de los gases del separador de grasas pudiera afectar a terceros. Se instalará un sistema de desodorización de gases por carbón activo.

Si fuera necesaria la extracción forzada de los gases del sistema de depuración, debido a la instalación del separador de grasas en una zona ausente de viento, será necesario contemplar las normas existentes para sistemas de ventilación y tener en cuenta que la velocidad de circulación por el conducto será tal que no provoque ruidos a terceros.

VI.3 Reactor Biológico

A continuación, se abordan las mejoras a realizar en el reactor biológico que se emplea en los sistemas de depuración compacta de las aguas residuales urbanas.

Las posibles mejoras pueden abordar varios aspectos de reactor biológico, tales como la mejora de los materiales, la correcta elección de los equipos que se instalan en los sistemas de depuración compacta, la eficiencia energética y el método elegido para instalarlos.

Podemos incrementar el rendimiento de los sistemas de depuración biológicas diseñando reactores biológicos con formas y emplazamientos alternativos a los comúnmente instalados en el mercado, sin embargo, hay que tener en cuenta que el sistema de depuración debe ser competitivo desde el punto de vista técnico-económico y cumplir los requisitos que marca la legislación actual.

Cumplimientos por encima de la legislación actual nos pueden llevar a plantas de alta eficiencia en la depuración de las aguas residuales urbanas, las cuales difícilmente serán competitivas en el mercado, pues quienes las promueven dan una especial importancia al costo de las mismas.

En el diseño de un reactor biológico se debe tener en cuenta que es necesario evitar las zonas muertas, y así conseguir un reactor biológico homogéneo.

Este objetivo se alcanza empleando parrillas de difusores de burbuja fina para inyectar el oxígeno necesario para el sistema de depuración. El adecuado emplazamiento de la parrilla de difusores a lo largo de todo el reactor, evita la existencia de zonas muertas. Sin embargo, es cierto que bajo la parrilla de difusores instalada en los depósitos cilíndricos horizontales que se emplean en los sistemas de depuración compactos. Decanta fango cuando el soplante exterior para con el objetivo de realizar la desnitrificación del agua residual. La instalación de un sistema de purga bajo la parrilla de difusores, con el objetivo de evitar estas acumulaciones de fango constituiría una mejora con respecto a los sistemas de depuración compactos actuales en el mercado.

El uso de eyectores sumergibles para la dosificación del oxígeno necesario en el reactor biológico incrementa la existencia de zonas muertas en el reactor biológico, las cuales se presentan fundamentalmente detrás del eyector sumergible.

La dosificación del oxígeno necesario para la depuración de las aguas residuales urbanas en sistemas de fangos activados es fundamental para la adecuada depuración de las aguas residuales urbanas.

Siendo el sistema más eficiente desde el punto de vista energético y operacional, las parrillas de difusores de burbuja fina alimentadas por soplantes en el exterior de los sistemas de depuración. Si abordamos mejoras a los reactores biológicos de los sistemas de depuración compactos actuales. Podemos instalar sondas de oxígeno disuelto en el interior del reactor biológico. Este equipo incrementa el coste de la planta, pero aumenta el rendimiento del sistema de depuración, ajustando el caudal de aire y con este tenemos el oxígeno disuelto al estrictamente necesario para el sistema de depuración.

El uso de soplantes en el exterior de los sistemas de depuración, produce ruidos que, en el caso de emplazamientos en viviendas, motiva la insonorización de la ubicación del soplante, empleando cabinas de insonorización y aislamiento acústico en las paredes.

El uso de eyectores sumergibles en la dosificación del oxígeno necesario para la depuración de las aguas residuales urbanas, nos aporta un descenso del inmovilizado y un coste inferior en la planta de depuración de aguas residuales. Sin embargo, supone varios problemas a la hora de operar la mencionada planta. Debido a la inexistencia de sistemas de desbaste de finos, pequeños sólidos pasan al reactor biológico, los cuales obstruyen el Venturi que forma parte del eyector sumergible. Provocando frecuentes paradas del aire eyector sumergible y la consecuente parada del reactor biológico.

La instalación de un aireador sumergible hace necesaria la instalación de un puente grúa para el izado del mencionado aireador, pues el peso del mismo sobrepasa los kilogramos

permitidos a levantar por dos personas. En muchas ocasiones las vibraciones del aireador sumergible instalado en un tanque de hormigón provocan molestias cuando el sistema de depuración compacto está instalado en viviendas.

Una variable que nunca se tiene en cuenta en el diseño de los sistemas de depuración compactos es la **temperatura de trabajo del reactor biológico**. Así los sistemas de depuración compactos instalados a grandes alturas en el Archipiélago Canario han supuesto un fracaso y han provocado el vertido de aguas residuales deficientemente depuradas. Ciertamente es verdad que el calentamiento del agua del reactor biológico para conseguir una adecuada depuración de las aguas residuales supondría un elevado coste que sería necesario si pretendemos cumplir con la legislación actual. Para poder llegar a una solución de compromiso, la cual nos permita tratar las aguas residuales urbanas con un coste óptimo, se propone el calentamiento del reactor biológico empleando energía solar, siendo necesario el apoyo de otra fuente de calor para poder garantizar la adecuada temperatura del reactor biológico. Además, que esta alternativa implicaría la instalación de sistemas de control de la temperatura y de energía.

Con objetivo de mejorar el rendimiento de la depuración de las aguas residuales urbanas en el reactor biológico, es necesario considerar reactores biológicos que se instalan como cilindros verticales y sustituyan a los actuales reactores biológicos instalados como cilindros horizontales. La disposición en vertical aumentaría el tiempo de contacto del aire con el agua y en consecuencia el oxígeno disuelto. Siendo necesario usar un soplante que aportaría menor caudal a más presión. Esta mejora es necesario evaluarla caso por caso, teniendo en cuenta la soplante seleccionada y la disposición del reactor biológico. Esta disposición en vertical del reactor biológico incrementa los costes de excavación en las depuradoras de aguas residuales urbanas instaladas bajo tierra, lo cual constituye una barrera para su penetración en el mercado.

Si tenemos en cuenta las mejoras a aportar en los equipos electromecánicos, es necesario tener en cuenta que el incremento en las prestaciones de estos equipos. Normalmente va asociada a un incremento del precio en la maquinaria, situando a la planta en unos costes

de producción superiores. Es necesario llegar a una solución de compromiso que nos lleve a plantas de tratamiento de aguas residuales compactas que sean viables.

Como hemos mencionado anteriormente el soplante aporta más mejoras que inconvenientes frente al eyector sumergible. A la hora de seleccionar el soplante de canal lateral es necesario tener en cuenta que el equipo debe trabajar en un punto de trabajo que esté situado la zona alta del rendimiento electromecánico, esto implica en muchos casos el cambio de marca o fabricante, lo cual dificulta la compra de los equipos y el stock de los repuestos. Además, para aportar la cantidad suficiente y justa de oxígeno disuelto en una planta de depuración de agua residual compacta es necesario instalar un variador de frecuencia y una sonda de oxígeno disuelto. Incrementando el coste de la planta y bajando los costes de explotación.

Existe la posibilidad de abastecer el reactor biológico con oxígeno almacenado en un depósito exterior, esta alternativa no se ha implantado en la industria de la depuración de las aguas residuales debido a su elevado coste. En mi opinión se puede plantear como una solución transitoria ante una avería de un soplante biológico o un eyector sumergible.

Otra alternativa para mejorar la depuración de las aguas residuales en el reactor biológico, consiste en mejorar la masa microbiana presente en el reactor biológico, seleccionando aquellos microorganismos adecuados para la depuración de las aguas residuales urbanas y evitando la presencia de los microorganismos que puedan empeorar la depuración de las aguas residuales urbanas, tales como las bacterias filamentosas. Para llevar a cabo esta mejora es necesario aumentar los gastos de mantenimiento y operación de las depuradoras de aguas residuales urbanas compactas, pues es necesario usar los servicios de un técnico superior que tenga conocimientos en depuración de aguas residuales urbanas y microbiología. Normalmente este tipo de plantas en Canarias están instaladas en recintos privados, los cuales prestan atención a únicamente a la gestión de los residuos y los olores de las estaciones depuradoras compactas. Haciendo que esta mejora solamente sea viable en instalaciones públicas, donde el peticionario será quien pedirá un aumento del rendimiento de la instalación.

Establecer un programa de mantenimiento preventivo y operación de la planta depuradora de aguas residuales compactas, fijando unas visitas programadas, las actuaciones a desempeñar en cada una de las visitas, realizando analíticas del agua residual depurada y reflejando toda esta información en el programa de mantenimiento, siendo realizadas por un técnico superior con conocimientos de depuración de aguas residuales urbanas, constituiría un aumento de la mejora sustancial de la calidad de las aguas residuales urbanas depuradas en las mencionadas plantas.

Decantador Secundario

El decantador secundario es la última etapa del tratamiento biológico en una depuradora de agua residual compacta, siendo la etapa en la que los fangos activos y otros elementos más pesados que el agua decantan a la parte baja del decantador, se produce la separación entre el agua residual depurada y los fangos biológicos.

Cómo hemos nombrado anteriormente las depuradoras de aguas residuales compactas se comercializan a través de depósitos cilíndricos, los cuales se instalan horizontalmente. Este hábito del mercado provoca que la decantación secundaria no se realice en un depósito troncocónico vertical, tal y como se debería ser según la literatura técnica clásica. En su lugar la decantación se produce en el interior de una circunferencia o compartimento del tanque cilíndrico, alcanzando el área máxima de decantación a la mitad de la circunferencia, de modo que para obtener un ratio adecuado entre el caudal de agua a decantar y la superficie del decantador es necesario aumentar el área de decantación.

Se plantea como posibles mejoras para aumentar la eficiencia en la decantación secundaria, el aumento del área de decantación, lo cual supondría un incremento de los costes de producción, además si se alcanza un radio excesivo en el depósito cilíndrico se incrementarían además los costes de transporte. Haciendo que esta mejora sea difícilmente aplicable.

Desde mi punto de vista una mejora viable para el incremento del rendimiento en la decantación secundaria, consistiría en la dosificación de coagulante y floculante en el proceso secundario, los cuales deberían ser dosificados en la recirculación del fango biológico y así ser agitados en el reactor biológico. De modo que aumente el diámetro del flóculo y así decante

con mayor rapidez en el decantador secundario. Es cierto que esta es una técnica que no obedece a los métodos explicados en la literatura clásica, es necesario estudiarla en escala piloto para determinar las dosis óptimas de coagulante y floculante, aclarar cómo es la agitación adecuada en el reactor biológico y si estos productos químicos afectan a la masa microbiana del reactor biológico. Siendo un incremento de los gastos de explotación frente a los gastos de suministro e instalación, pienso que tiene mayor viabilidad de penetrar en el mercado.

El aumento del rendimiento en el decantador secundario, también se puede alcanzar empleando un decantador secundario troncocónico aislado del reactor biológico e instalado verticalmente. Esta variable tiene más dificultades para penetrar en el mercado porque incrementa los costes de transporte y los costes de excavación. Se emplea principalmente cuando así lo solicita el peticionario o el redactor del proyecto debe satisfacer y garantizar una adecuada depuración de las aguas residuales urbanas.

Otra alternativa para incrementar el rendimiento en el decantador secundario la constituye el uso de decantadores secundarios lamelares, los cuales proporcionan una eficiencia incrementada en el decantador secundario, con una menor superficie de decantación, pues se emplean las lamelas para mejorar la precipitación del flóculo. Nuevamente se incrementa el coste de instalación y hace que esta mejora tenga menos posibilidades de penetrar en el mercado de la depuración de aguas residuales compactas. Sin embargo, esta alternativa reduce los costes de transporte, frente a un decantador secundario vertical clásico. Siendo aplicados este tipo de decantadores cuando el proyectista o la propiedad tiene la necesidad de mantener una adecuada depuración de las aguas residuales en el tiempo.

Este tipo de depuradoras de agua residual urbanas compactas carecen de tratamiento de fangos, los cuales, si no son purgados y retirados del sistema en el momento adecuado, envejecen y mueren en el reactor biológico, cuando llegan al decantador secundario ascienden a la superficie, ya que han perdido peso. Se mezclan con el agua residual depurada que saldrá del decantador, arruinando el proceso de decantación. Para asegurar el adecuado tratamiento y purga de los fangos biológicos, es necesario el análisis de los mismos para establecer los momentos adecuados de purga de fangos, otra vez se hace necesaria la presencia y

seguimiento de un técnico superior con conocimientos en depuración de aguas residuales urbanas, pues es la única forma de establecer la adecuada y óptima frecuencia en la purga de los fangos. En Canarias estas frecuencias se establecen de formas variadas, a criterio de la propiedad, según las indicaciones del gestor de residuos y principalmente en función de las molestias y malos olores que provoquen las estaciones de depuración de aguas residuales urbanas. Ninguno de los criterios anteriormente nombrados optimiza la purga adecuada del fango.

En las depuradoras de aguas residuales compactas, que sean comercializados a través de tanque cilíndricos que se instalan horizontalmente, no se puede acceder a las almenas del decantador secundario. De modo que no se pueden limpiar y tampoco se pueden reparar, este hecho posibilita que las almenas se dañen debido a la degradación del material y que se acumulen en su interior excesos de fango. Para posibilitar la limpieza de las almenas del decantador secundario, se propone la inyección de agua pulverizada de forma automática y programada en el canal de las almenas del decantador secundario. Esta medida incrementa levemente los gastos de instalación y suministro, pues es necesario llevar hasta la depuradora de agua residual urbana una conexión de aguas blancas o almacenar el agua residual depurada y bombearla hasta las almenas del decantador. Además, se incrementan los gastos de explotación de la planta pues se suma el consumo de aguas blancas exteriores o los gastos energéticos asociados al bombeo de las aguas residuales depuradas.

Un aspecto fundamental en el funcionamiento de un decantador secundario es la selección de la bomba de recirculación de fangos biológicos, es muy importante que la mencionada bomba sea capaz de bombear los fangos sin atascarse. Se recomiendan las bombas sumergibles con impulsor monocanal, frente a las bombas trituradoras o las bombas con impulsor tipo vórtex, pues cuantos menos obstáculos se pongan al bombeo de los fangos menores serán los problemas, por esta razón se selecciona el impulsor monocanal. Además, es muy importante que la selección de la bomba se haga con un punto de trabajo en el cual el rendimiento de la bomba sea el mayor posible, pues este equipo funcionará muchas horas y supondrá un gasto energético elevado.

La mejor forma de instalar la bomba sumergible será con tubo guía y con el codo de impulsión en el fondo del decantador, así es posible sacar la bomba ante averías de mantenimiento sin tener que retirar la totalidad de la tubería. Un aspecto importante es el peso de la bomba, cuanto menor sea el peso de la bomba, más fácil será hacer el mantenimiento de la misma.

Es muy importante la instalación de la bomba de recirculación de fangos, con un magnetotérmico regulable, en el cual podamos seleccionar la intensidad de disparo en el cuadro eléctrico, pues es muy habitual el quemado del bobinado del motor debido a una sobreintensidad que ha sido provocada por una obstrucción de la bomba.

VI.4 Desinfección

La desinfección del agua residual depurada se suele realizar a través de la inyección de hipoclorito sódico en la arqueta de cloración o en la misma tubería de vertido, es fundamental dar un tiempo de contacto adecuado entre el hipoclorito sódico y el agua residual depurada. La ausencia de un canal de cloración o un depósito con recirculación para dosificar el hipoclorito sódico necesario hace que la dosis de hipoclorito sódico a dosificar sea mayor, incrementando los costes de explotación. Se propone la medición en continuo del hipoclorito sódico dosificado y un control para establecer la dosis de cloro justa y óptima aportar al agua residual depurada. Esta mejora incrementa el coste de la planta y difícilmente penetrará en el mercado cuando sea el inmovilizado inicial la única variable a considerar.

Es muy importante controlar los niveles de amonio en el agua residual depurada, pues la combinación de hipoclorito sódico y amonio en el agua residual depurada, puede generar cloraminas las cuales son tóxicas.

Es cierto que existen otros métodos para desinfectar el agua residual depurada, pero la dosificación de hipoclorito sódico o hipoclorito cálcico son las únicas alternativas que se

consideran en las plantas de agua residual compactas, la desinfección mediante otros métodos supone un incremento del coste que no se implanta en el mercado.

Existen otros métodos para la desinfección del agua residual depurada que no suponen la cloración de la misma, sin embargo, éste se ha implantado como un método sencillo con poca inversión inicial

Durante la explotación o mantenimiento de las plantas de agua residual compactas es muy importante comprobar que la bomba dosificadora de cloro tiene el reactivo, pues es muy común que la ausencia de visitas de mantenimiento haga que se quede sin reactivo. Además, es fundamental comprobar que la bomba dosificadora a pesar de estar operativa y tener el reactivo, impulsa el producto químico y esta bomba no está trabajando en vacío pues es frecuente que aspire aire y sea necesario purgarla para su correcto funcionamiento. Nuevamente las labores de mantenimiento de las plantas de agua residual compacta cobran un valor fundamental y necesario para el adecuado funcionamiento de las mismas.

Desde el punto de vista del suministro del reactivo, supone una mejora frente a las tendencias del mercado habituales en las plantas de agua residual compacta, y la instalación de una sonda de nivel en el depósito de almacenamiento de producto químico, de forma que cuando llegue al nivel mínimo se pueda enviar una señal vía radio o vía SMS al gestor de mantenimiento y éste pueda reponer el producto químico necesario. Nuevamente esta mejora supone un incremento del precio de la planta de agua residual compacta, sin embargo, debido al bajo valor de los del equipo añadido, se entiende que aporta valor y no lastra en exceso al producto.

VI.5 Pozo de vertido

El pozo de vertidos de aguas residuales urbanas es la última etapa de la depuración de agua residual compacta aislada del saneamiento municipal. Esta perforación vertical realizada en el terreno, en búsqueda de material filtrante constituye la alternativa empleada para estos sistemas de saneamiento aislados en Canarias.

Al objeto de poder establecer un coste y ubicación del pozo de vertido es fundamental realizar sondeos del terreno previos a la excavación, pues en Canarias la ejecución de este tipo de obras por personal no cualificado ha supuesto costes disparatados para la ejecución de pozos de vertidos en lugares donde no existía terreno filtrante.

Cuando se hace un estudio previo del terreno en búsqueda de terreno filtrante es posible determinar a qué profundidad está el terreno filtrante y cuantos metros cuadrados disponibles hay para la evacuación del agua residual depurada.

De modo que se propone como una mejora en el estudio previo o reacción de proyecto la realización de sondeos en el terreno para ubicar la situación del pozo de vertido.

Uno de los parámetros fundamentales a la hora de dimensionar y establecer el volumen de desalajo en el pozo de vertidos, es el caudal a evacuar por cada metro cuadrado de superficie del pozo de vertido. Este parámetro depende del proyectista y de su experiencia profesional, no existe un valor en la normativa que nos indique el caudal a evacuar por metro cuadrado de superficie de pozo de vertidos. El Código Técnico de la Edificación (Ministerio de la Vivienda, 2006) ignora los pozos de vertido, dando la espalda a una realidad innegable en España.

Se propone como mejora durante la etapa de explotación de la planta de agua residual compacta, la infiltración un volumen controlado de agua blanca, no necesariamente potable, durante un tiempo establecido. Así se podrá hacer seguimiento a la capacidad de infiltración de agua residual depurada durante la etapa de explotación de la planta, pues este ratio desciende durante los años de servicio de la planta de agua residual depurada, pues la ausencia de mantenimiento o control de las aguas residuales depuradas suponen que un exceso de materia orgánica y fecal llegue a los pozos de vertidos, obstruyendo sus paredes. Es fundamental determinar que este proceso sucede, antes de que el pozo de vertido se colapse y pierda toda su capacidad de infiltración. En definitiva, se propone una prueba de la capacidad de infiltración del pozo de vertido a ejecutar cada cinco años.

Uno de los problemas frecuentes en los pozos de vertido de agua residual depurada, lo suponen el ascenso de corrientes de aire desde el interior del pozo hacia la planta depuradora de agua residual compacta y en consecuencia hacia la instalación de fontanería de la

edificación asociada. Es necesario prever esta circunstancia en el diseño de la instalación de fontanería de la edificación, dando una importancia vital a la red de ventilación que está asociada a la red de fontanería, permitiendo así el alivio de estas corrientes de aire inesperadas en las instalaciones de fontanería.

Muchos pozos de vertido de aguas residuales urbanas en Canarias pierden su capacidad de infiltración paulatinamente, de modo que el agua residual depurada comienza a almacenarse en el interior del pozo de vertido y se filtra más lentamente.

Para cumplir con el Código Técnico de la Edificación (Ministerio de la Vivienda, 2006) y aumentar el rendimiento de los sistemas de depuración es muy importante, evitar que las aguas pluviales lleguen a los sistemas de depuración compactos, evitando incrementos de caudal que pueden causar: desbordamientos del sistema de depuración y su consiguiente vertido a la vía pública o el medio natural, la pérdida de la masa microbiana y un descenso en el rendimiento de la depuración del agua residual urbana.

Una red separativa del saneamiento debe ser suficiente para separar las aguas pluviales y fecales antes del sistema de depuración compacto. Si no existiera una red de aguas pluviales a la que conectar las mencionadas aguas pluviales, sería posible dimensionar el pozo de vertidos para drenar las aguas pluviales, siempre y cuando el caudal a verter sea asumible por el pozo de vertido.

VII. Conclusiones

La ausencia de un servicio básico como el saneamiento municipal en la isla de Tenerife, provocado por la ausencia de inversión gubernamental, ha producido el desarrollo de una costumbre: “conectarse al pozo para verter aguas residuales urbanas sin depurar”. Este problema se ve incrementado por la ausencia de conciencia medioambiental entre los vecinos de la isla de Tenerife y la deficiente planificación urbanística, pues no se impidió a tiempo las edificaciones aisladas de los servicios municipales.

La entrada en vigor del Reglamento de Control de Vertidos del Dominio Público Hidráulico (Gobierno de Canarias, 1994), debería haber solucionado el problema de los vertidos de aguas residuales no depuradas en la isla de Tenerife, supone la obligación de depurar estas aguas residuales urbanas. En las edificaciones urbanas aisladas se impone la obligación de instalar plantas de tratamiento de agua residuales urbanas compactas, aisladas del saneamiento municipal, asumiendo así los promotores de las edificaciones y los particulares la obligación municipal de depurar las aguas residuales urbanas.

Durante la fase de proyecto de las nuevas edificaciones, tras la entrada en vigor del Reglamento de Control de Vertidos del Dominio Público Hidráulico (Gobierno de Canarias, 1994), son los ingenieros que proyectan las instalaciones de los edificios quienes seleccionan las plantas de tratamiento de aguas residuales compactas, están interesados en el cumplimiento de la normativa. Además, dan importancia a la calidad del producto para poder garantizar la correcta depuración de las aguas residuales.

Sin embargo, durante la fase de construcción de las edificaciones, son los contratistas quienes acaban seleccionando un modelo de planta de tratamiento de aguas residuales urbanas compactas, que en teoría debe ser similar al proyectado. La práctica en la isla de Tenerife nos dice que se han instalado muchas plantas de tratamiento de aguas residuales compactas que tenían errores de ejecución o fallos de fabricación. Dejando a los propietarios de la edificación en problemas difíciles de resolver, pues en muchas ocasiones el promotor de la edificación o el contratista no se hacen responsables y el procedimiento para reclamar

responsabilidades dura tanto que en muchas ocasiones las sociedades que promueven o construyen se han disuelto.

La dura competencia que se establece entre los fabricantes e instaladores de plantas depuradoras de aguas residuales urbanas compactas, supone la reducción al mínimo de los precios y de las prestaciones de estas plantas, dificultando la implantación de plantas eficientes y altas prestaciones. Frenando así el desarrollo tecnológico, y adecuado desarrollo de nuevas soluciones que nos lleven al tratamiento del agua residual urbana.

Para potenciar la calidad y optimización de las plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas compactas e incrementar la calidad de las aguas residuales urbanas depuradas, sería necesario que la administración, dotada adecuadamente del personal, hiciera labores de seguimiento e inspección a las nuevas instalaciones y a las existentes. Una posible variante sería la encomienda de estas labores a Organismos de Control Autorizado.

Estos usuarios, particulares, no están preparados para gestionar una instalación que no comprenden y además tampoco tienen la sensibilidad medioambiental necesaria como para tomar esta obligación en serio. Siendo necesario obligar a los usuarios finales a que encomienden esta labor de gestión y mantenimiento a profesionales cualificados.

Si la administración estableciera un modelo mixto, en el cual se construyen plantas de tratamiento de aguas residuales compactas o de pequeño alcance por parte de la administración para los núcleos aislados, el municipio asumiría el mantenimiento y la operación de la instalación.

Para los núcleos de población de grandes dimensiones como Santa Cruz de Tenerife o San Cristóbal de la laguna es necesario un modelo de grandes depuradoras de aguas residuales, gestionadas por la administración.

Para poder afrontar los altos costes que suponen estas infraestructuras, el modelo de financiación podría ser privado/público, dando la oportunidad a las grandes compañías en

invertir en las infraestructuras básicas, que el gobierno no puede llevar a cabo. Evitando así la contaminación del medio ambiente que tiene como consecuencias entre otras, la contaminación de los acuíferos de agua potable y los vertidos de aguas residuales no depurada.

Sin embargo, actualmente se están construyendo las plantas depuradoras de aguas residuales de gran tamaño, que hace años deberían haber sido construidas en la isla de Tenerife. No obstante, quedan todavía tareas pendientes como la conexión de esas antiguas con construcciones no conectadas al saneamiento municipal, labor que requerirá la intervención de las administraciones. Estas, en muchas ocasiones no ejercen presión sobre el ciudadano para que ejecute esas obras de conexión al alcantarillado público existente, porque suponen un alto coste económico para los ciudadanos y un alto coste político para los gobernantes.

Finalmente es necesario destacar que la auténtica solución al impulso de la optimización de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas Compactas y el adecuado tratamiento de las aguas residuales urbanas en la isla de Tenerife, reside en la conciencia medioambiental de sus vecinos, las empresas y sus gobernantes. Siendo el motor necesario para poder acometer las acciones que sean adecuadas, anteponiendo las depuradoras de aguas residuales a otras infraestructuras y servicios. Así las depuradoras de aguas residuales urbanas serán reclamadas con mayor intensidad, dejando de poner en la cola un servicio que es básico para vivir adecuadamente en una sociedad del primer mundo.

Conclusions

The absence of a basic service such as municipal sanitation on the island of Tenerife, caused by the absence of government investment, has led to the development of a custom: "*connect to the well to discharge untreated urban wastewater*". This problem is increased by the lack of environmental awareness among the residents of the island of Tenerife and the deficient urban planning, since the isolated buildings of the municipal services were not prevented in time.

The entry into force of the Regulation for the Control of Discharges of the Public Hydraulic Domain should have solved the problem of the discharge of non-purified wastewater on the island of Tenerife, as it implies the obligation to purify these urban wastewater. In isolated urban buildings, the obligation to install compact urban wastewater treatment plants, isolated from municipal sanitation, is imposed, thus assuming the developers of buildings and individuals a municipal to purify urban wastewater.

During the project phase of the new buildings, after the entry into force of the Regulation for the Control of Discharges of the Public Hydraulic Domain, the engineers are those who design the facilities of the buildings and who select the compact wastewater treatment plants. They are interested in the compliance with regulations. In addition, they attach importance to the quality of the product in order to guarantee the correct treatment of wastewater.

However, during the construction phase of the buildings, the contractors are those who end up selecting a compact urban wastewater treatment plant model, which in theory should be similar to the one projected. Practice on the island of Tenerife tells us that many compact wastewater treatment plants have been installed that had execution errors or manufacturing faults. Leaving the owners of the building in difficult problems to solve, since in many cases the developer of the building or the contractor is not responsible and the procedure to claim responsibilities is so long that on many occasions, the promoting companies have been dissolved.

The hard competition that is established between the manufacturers and installers of compact urban wastewater treatment plants means that prices and performance of these plants are reduced to a minimum, making it difficult to implement efficient and high-performance plants; and thus, slowing down the technological development, and the adequate development of new solutions that lead us to the treatment of urban wastewater.

To enhance the quality and optimization of compact urban wastewater treatment plants and increase the quality of purified urban wastewater, it would be necessary for the administration, adequately staffed, to carry out monitoring and inspection of the new and existing facilities. Being a possible variant the entrustment of these tasks to Authorized Control Bodies.

These users, individuals, are not prepared to manage an installation that they do not understand and also do not have the necessary environmental sensitivity to take this obligation seriously. It is necessary to force end users to entrust this management and maintenance work to qualified professionals.

If the administration establishes a mixed model, in which compact or small-scale wastewater treatment plants are built by the administration for isolated nuclei, the municipality would assume the maintenance and operation of the facility.

For large population centers such as Santa Cruz de Tenerife or San Cristóbal de La Laguna, a model of large wastewater treatment plants is necessary, managed by the administration.

In order to face the high costs of these infrastructures, the financing model could be private / public, giving large companies the opportunity to invest in basic infrastructures, which the government cannot carry out. Thus avoiding the contamination of the environment that has as consequences, among others, the contamination of drinking water aquifers and the discharges of untreated wastewater.

However, the large sewage treatment plants that years ago should have been built in the island of Tenerife are currently being built. Nevertheless, there are still pending tasks such as the connection of these old ones with constructions not connected to sanitation.

Finally, it is necessary to highlight that the authentic solution to the promotion of the optimization of Compact Urban Wastewater Treatment Plants and the adequate treatment of urban wastewater on the island of Tenerife lies on the environmental conscience of its neighbours, companies and its governments, as it is the necessary engine to be able to undertake the appropriate actions, putting wastewater treatment plants before other infrastructures and services. Thus, urban wastewater treatment plants will be demanded with greater intensity, giving the adequate importance to a service that is essential to live adequately in a first-world society.

VIII. Bibliografía

- Asociación Española de Empresas del Sector del Agua (AQUA ESPAÑA) (2020) Guía Técnica para la Gestión de las aguas residuales urbanas en pequeños núcleos mediante depuradoras compactas prefabricadas
- del Río, I; Ortega, E. (2015) Jornada sobre depuración en pequeños núcleos urbanos. Conferencia Hidrográfica del Tajo
- Gobierno de Canarias (1994) Reglamento de Control de Vertidos del Dominio Público Hidráulico. Decreto 174/1994
- Huertas, R; Marcos, C.; Ibarguren, N.; Ordás, S. (2013) Guía práctica para la depuración de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Confederación Hidrográfica del Duero (OMI-CRON-AMEPRO, SA)
- Ministerio de Vivienda (2006) Código Técnico de la Edificación. Real Decreto 314/2006, BOE nº 74, de 28 de marzo de 2006
- Ortega de Miguel, E.; Ferrer Medina, Y.; Salas Rodríguez, J.J.; Aragón Cruz, C.; Real Jiménez, Á. (2010) Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino
- Schwermer, C.U.; Uhl, W. (2016) Challenges for the operation of onsite small wastewater treatment systems in cold climate Experiences & review. Conference: EWA Conference Water management: Challenges in cold climate, Spitzbergen, Norway 25-27/06/2016
- South Pacific Applied Geoscience Commission (1999) Small Scale Wastewater Treatment Plant Project

Candelaria, 06 de junio de 2021

Firmado por VERA HERNANDEZ, CARLOS AGUSTIN
(FIRMA) el día 06/06/2021 con un
certificado emitido por AC DNIE 004

Firmado.: Carlos Agustín Vera Hernández