

Proyecto AQUALITRANS

Guía de soluciones tecnológicas para la eficiencia de las EDAR



Actividad 1	Contexto de las EDAR en la Euroregión
Acción	Soluciones tecnológicas para la eficiencia de las EDAR
Tarea	Guía de soluciones tecnológicas para la eficiencia de las EDAR
Código	A1.3

Diciembre 2017

Versión 4

INDICE

1	INTRODUCCIÓN	4
2	ANÁLISIS DE SOLUCIONES DE MEJORA DE LA EFICIENCIA EN LAS EDAR	4
2.1	VARIADORES DE FRECUENCIA	5
2.1.1	Uso de variadores de frecuencia	5
2.2	MOTORES ELÉCTRICOS	10
2.2.1	Sustitución de motores de alta eficiencia	10
2.2.2	Reposición de motores averiados por motores de alta eficiencia	16
2.2.3	Sustitución de motores sobredimensionados	19
2.3	BOMBAS	22
2.3.1	Sustitución de bombas sobredimensionadas	22
2.4	PROCESO DE AIREACIÓN	26
2.4.1	Implantación de tecnología de aireación por difusión	26
2.4.2	Sustitución de difusores por difusores de alta eficiencia	29
2.4.3	Limpieza del circuito de aireación	34
2.4.4	Reposición de difusores averiados o con pérdida de rendimiento	37
2.4.5	Cambio en la configuración y número de difusores	40
2.4.6	Separación método de aireación y agitación	42
2.4.7	Empleo de tecnología de soplantes más eficientes	45
2.4.8	Redimensionamiento de soplantes	49
2.4.9	Sistemas de control para el sistema de aireación	51
2.5	SISTEMA DE DESINFECCIÓN ULTRAVIOLETA	54
2.5.1	Regulación del sistema de desinfección ultravioleta	54
2.5.2	Utilización de lámparas UV de baja presión	56
2.6	SISTEMA DE DESODORIZACIÓN	59
2.6.1	Automatización del sistema de desodorización	59
2.7	TECNOLOGÍAS RENOVABLES Y APROVECHAMIENTO DE ENERGÍAS RESIDUALES DE PROCESO	61
2.7.1	Cogeneración	61
2.7.2	Codigestión	67
2.7.3	Aislamiento de viejos digestores	72
2.7.4	Inyección a red del biogás generado	74

2.7.5	Motores de gas	76
2.7.6	Secado solar de lodos	78
2.7.7	Minieólica	80
2.7.8	Energía solar fotovoltaica	85
2.7.9	Aprovechamiento energía hidráulica	91
2.8	ILUMINACIÓN	93
2.8.1	Mejora del sistema de iluminación	93
2.9	SISTEMA DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA	96
2.9.1	Plataforma de monitorización y supervisión energética	96
2.10	ADECUACIÓN TARIFA ELÉCTRICA	100
2.10.1	Ajuste de la potencia contratada	100
2.10.2	Desplazamiento de cargas a periodos tarifarios más económico	102
2.10.3	Ajuste del factor de potencia	104
3	SOLUCIONES INNOVADORAS APLICADAS EN LA ACTUALIDAD	107
3.1	MAXIMIZACIÓN CAPTURA DE SÓLIDOS Y MATERIA ORGÁNICA EN DECANTACIÓN PRIMARIA	108
3.2	TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS INNOVADORES	109
3.2.1	Tratamiento anaeróbico UASB	109
3.2.2	Tratamiento de los licores sobrenadantes y de los filtrados del tratamiento de lodos	109
3.3	TRATAMIENTOS DE LODOS PREVIOS A LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA	111
3.4	HIDRÓLISIS TÉRMICA DE LOS LODOS	113
3.5	TRATAMIENTOS ELÉCTRICOS	114
3.6	PARÁMETROS DE CONTROL DE PROCESO DE AIREACIÓN DE REACTORES AERÓBICOS	115
3.7	CONTROL DE PROCEDIMIENTOS DE AIREACIÓN POR PARÁMETROS DE AMONIACO, NITRATO Y NITRITO	117
3.8	AGISTACIÓN DE REACTORES BIOLÓGICOS ANAERÓBICOS Y ANÓXICOS	118
3.9	SOLUCIONES DESCENTRALIZADAS	119
4	FUENTES Y REFERENCIAS	121

1 INTRODUCCIÓN

La Guía de Soluciones Tecnológicas para la Eficiencia en las EDAR se enmarca dentro del proyecto AQUALITRANS con el objetivo de incorporar el conocimiento tecnológico existente en materia de gestión y operación eficiente en EDAR que haya mostrado eficacia y pueda ser empleado en su estado de desarrollo actual.

Para la elaboración de la guía, se ha realizado un importante trabajo documental consistente en recopilar, analizar e identificar aquellas soluciones que permitan optimizar el funcionamiento de equipos y procesos para obtener mejores rendimientos de depuración y menores consumos energéticos y de emisiones de CO₂.

La Guía pretende ser un documento que sirva de referencia a las entidades gestoras de EDAR para, en primer lugar, identificar potenciales medidas de mejora que puedan ser de aplicación en sus instalaciones, y en segundo lugar, poder disponer de información útil sobre cómo se debe evaluar la viabilidad técnico-económica en la implantación de las diferentes medidas de mejora evaluadas.

La Guía se estructura en dos grandes capítulos: Análisis de soluciones de mejora de la eficiencia de las EDAR actualmente en uso y el Análisis de soluciones innovadoras que todavía no disponen de un grado de penetración elevado en el cómputo general de las EDAR.

2 ANÁLISIS DE SOLUCIONES DE MEJORA DE LA EFICIENCIA EN LAS EDAR

En esta sección se detalla cada una de las soluciones analizada, exponiendo el contexto en el que se sitúa, el objetivo de la misma, los procesos de la depuradora afectados por la medida, los equipos afectados, los casos de aplicación para los que la medida resulta adecuada, así como los ahorros energéticos y casos de referencia que hayan adoptado esa solución. Algunas de las medidas desarrolladas inciden directamente en el ahorro energético, especialmente en el uso de sistemas más eficientes.

Pero también se proponen medidas relacionadas con la valorización energética de los residuos generados, que es uno de los grandes retos a los que se enfrentan las plantas de depuración, y a ahorros puramente económicos, relacionados fundamentalmente con una gestión correcta de la facturación eléctrica.

Los ahorros propuestos se han establecido a partir de estrategias de cálculo, pero también en base a casos de éxito analizados.

Puesto que la casuística de cada depuradora es diferente, la valoración de ahorros obtenidos en cada caso particular debe realizarse mediante la comparación de los consumos antes y después de la implantación de la medida. Para ello, es imprescindible diseñar e implantar un correcto sistema de medición y control, que redundará positivamente en la gestión de la planta. Finalmente, se presentan casos de referencia, estaciones que han implementado con éxito las medidas descritas, y cuya experiencia puede servir como guía en el desarrollo de las mismas.

2.1 VARIADORES DE FRECUENCIA

2.1.1 Uso de variadores de frecuencia

2.1.1.1 Contexto

Los variadores de frecuencia pueden utilizarse en un gran abanico de aplicaciones, siendo las más destacadas aquellas donde es necesaria una velocidad variable en la operación.

Una gran parte de los motores acoplados a equipos de uso industrial han sido diseñados para funcionar a velocidad constante, esto no supone un problema cuando las condiciones de operación son constantes, pero si estas condiciones son variables, la eficiencia energética del sistema puede verse reducida.

En las EDAR existen equipos como bombas, ventiladores, soplantes, etc. que en ocasiones están diseñados para funcionar a velocidad constante, por lo que, en caso de ser necesaria la variación de su caudal se debe realizar el ajuste del flujo por medio de dispositivos de estrangulamiento, por medio de un circuito bypass o mediante paradas continuadas. Estos métodos aumentan las pérdidas de carga o consumen energía innecesaria, y la utilización de un variador de frecuencia acoplado al motor puede evitarlo. Además, en las EDAR es también común que haya motores trabajando a una velocidad superior a la necesaria para su correcta operación.

En ambas casuísticas el uso de variadores puede resultar recomendable para la reducción del gasto energético

En la siguiente figura se representa gráficamente la energía requerida (azul) y la energía desperdiciada (rojo) para diferentes estrategias de control para el ajuste de caudal.

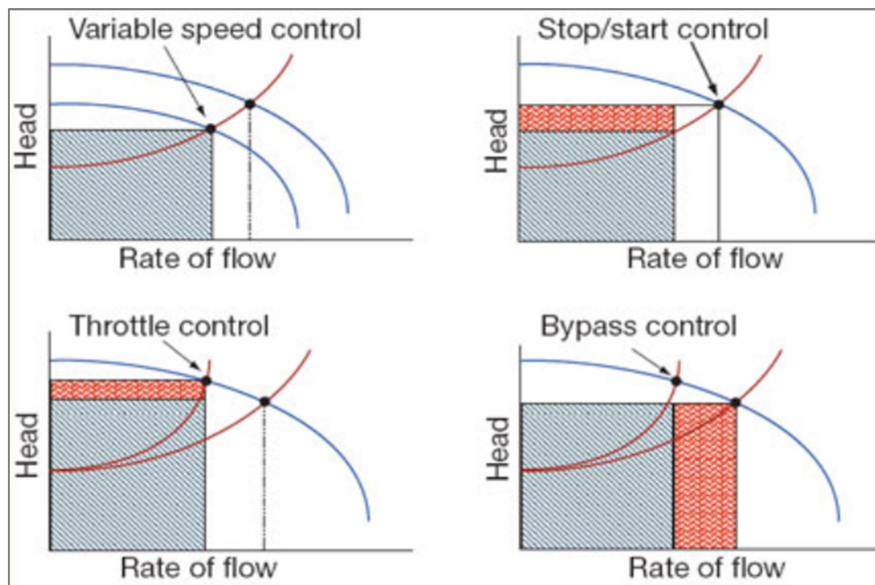


Figura 1: Estrategias de ajuste de flujo con Variador de frecuencia, arranque-parada, estrangulamiento o bypass.

2.1.1.2 Objetivo

Instalación de variadores de frecuencia en aquellos motores en los cuales el control de la velocidad pueda suponer una minimización del consumo energético.

2.1.1.3 Procesos y equipos afectados

La solución descrita es aplicable en los siguientes procesos de la EDAR:

- Pretratamiento
- Tratamiento primario
- Tratamiento secundario
- Línea de lodos

Los equipos afectados por esta medida de mejora son los motores eléctricos con necesidad de control de velocidad de cualquiera de los procesos anteriores.

2.1.1.4 Casos de aplicación

Se distinguen dos situaciones en las que la medida a analizar es de aplicación:

- a) Motores acoplados a bombas, ventiladores o soplantes cuya regulación de caudal se realiza mediante estrangulación, bypass o mediante encendido y apagado.
- b) Motores cuya velocidad se pueda disminuir sin afectar a su operación.



Figura 2; Variadores de frecuencia para la regulación de caudal de bombas de recirculación en EDAR de Ribadumia.

2.1.1.5 Datos principales necesarios para evaluación de la medida

En los casos contemplados en el apartado a del punto anterior se necesitará conocer:

- Horas de funcionamiento del motor
- Potencia nominal y factor de carga
- Parámetros hidráulicos
- Características motor
- Características variador
- Precio energía eléctrica e incremento anual

En los casos contemplados en el apartado b del punto anterior se necesitará conocer:

- Horas de funcionamiento del motor
- Potencia nominal y factor de carga

- Revoluciones antes y después
- Características motor
- Características variador
- Precio energía eléctrica e incremento anual

2.1.1.6 Ahorro energético

Se pueden llegar a alcanzar ahorros de hasta un 50% con la implementación de esta solución.

Para el cálculo del ahorro energético, las leyes de semejanza nos ayudan a predecir el comportamiento de una máquina, cuando varía alguna el número de revoluciones. De estas leyes se desprende que:

- Los caudales son directamente proporcionales a las velocidades angulares:

$$Q_f = Q_0 \left(\frac{n_f}{n_0} \right)$$

- Las alturas útiles son directamente proporcionales a los cuadrados de las velocidades angulares:

$$H_f = H_0 \left(\frac{n_f}{n_0} \right)^2$$

- Las potencias útiles son directamente proporcionales a los cubos de las velocidades angulares:

$$P_f = P_0 \left(\frac{n_f}{n_0} \right)^3$$

La utilización de variadores de frecuencia para el control de flujo en lugar de utilizar otras estrategias de operación como el control mediante válvulas de estrangulación, tan habitual en la industria, proporciona ahorros energéticos muy significativos, y por lo tanto ahorro económicos muy importantes.

En la siguiente figura se puede apreciar un análisis de la energía ahorrada en una bomba utilizando variadores de frecuencia en lugar de un sistema de regulación de flujo mediante válvula.

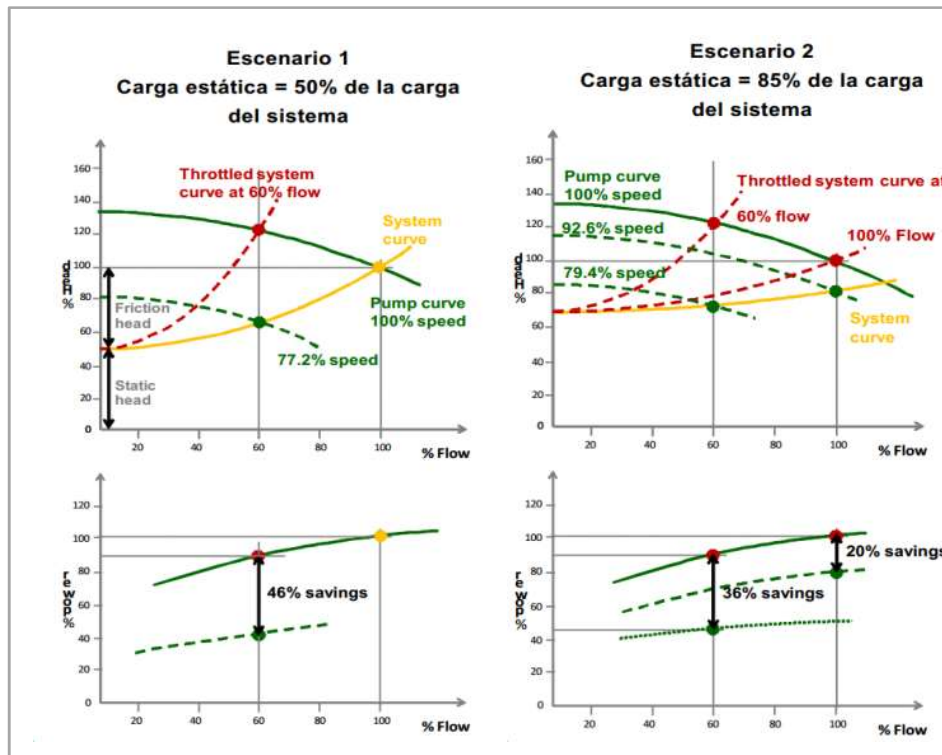


Figura 3: Ahorro energético mediante utilización de variadores a diferentes presiones estáticas. Fuente: Schneider Electric

2.1.1.7 Casos de referencia

La EDAR la cartuja ha dotado de variadores de frecuencia a diferentes elementos en el año 2.016 que han incrementado la eficiencia de la EDAR, se ha logrado para ajustar la potencia, y por lo tanto el consumo eléctrico, a los caudales reales del proceso. El ahorro de energía calculado con la implementación de estos variadores es de 885.000 Kwh/año.

La EDAR de Bens, en A Coruña, cuenta con un sistema de suministro de aire que consta de 5 soplantes, una de ellas en reserva, de 7.500 m³/h/ud. a 9 mca, dos de ellas dotadas de variador de frecuencia, para la optimización energética del sistema. Otras EDAR que han implantado esta solución son, por ejemplo:

- EDAR de Chantada
- EDAR Ricao
- EDAR Xinzo de Limia
- EDAR Burgos
- EDAR Guadalate

2.2 MOTORES ELÉCTRICOS

2.2.1 Sustitución de motores de alta eficiencia

2.2.1.1 Contexto

Una gran parte de los equipos de las EDAR utilizan motores para su funcionamiento. Las bombas, los soplantes, circuladores, agitadores, etc. son equipos accionados por motores eléctricos, que además funcionan de manera continuada o casi continuada en este tipo de plantas industriales.

Clases de Eficiencia Energética

La IEC (Comisión Electrotécnica Internacional) publicó el estándar IEC 60034-30 para la armonización de las clases de eficiencia energética de los motores, estableciendo las clases IE (International Efficiency) para motores desde 0,75 kW hasta 375 kW.

La clasificación establecida es la siguiente:

- IE1: eficiencia estándar (comparable con el antiguo EFF2).
- IE2: alta eficiencia (comparable con el antiguo EFF1).
- IE3: eficiencia premium.
- IE4: eficiencia superpremium.

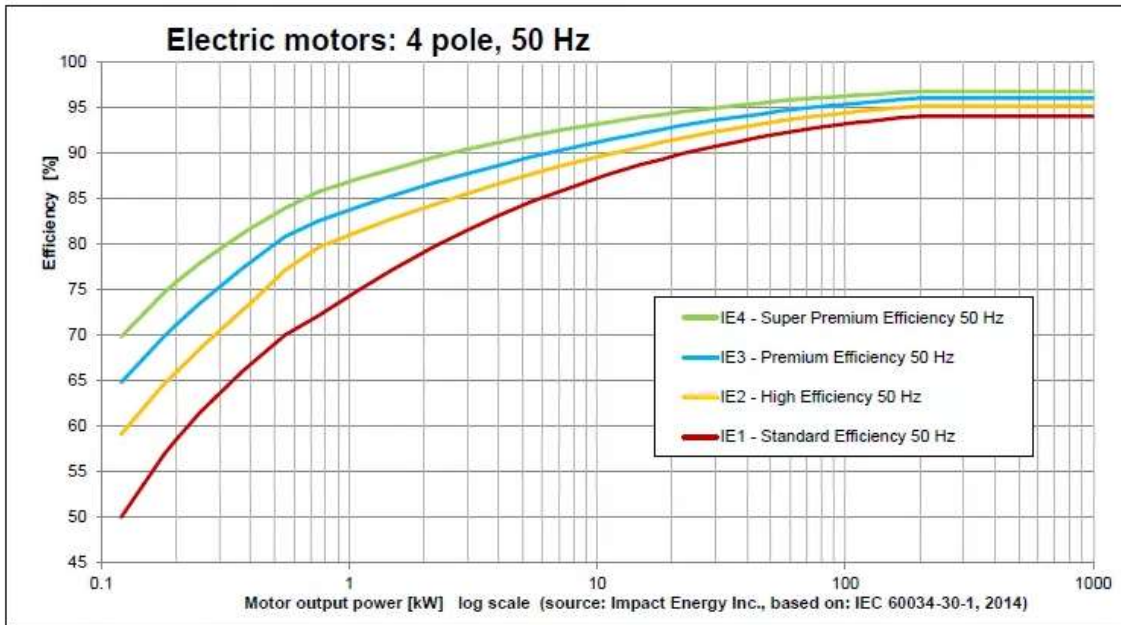


Figura 4: Eficiencia de motores en función de la potencia y categoría. IEC 60034-30-1

El cambio de motores a motores de mayor eficiencia, supone una disminución en el consumo energético de los mismos, y debido al elevado número de horas/año de funcionamiento, en muchas ocasiones está reducción de costes compensa la inversión realizada. Desde el 01/01/2017 (de acuerdo al Reglamento (CE) 640/2009) sólo se permite instalar motores IE3 en potencias desde 0,75kW a 375kW o, como alternativa, motor IE2 accionado por variador de frecuencia.

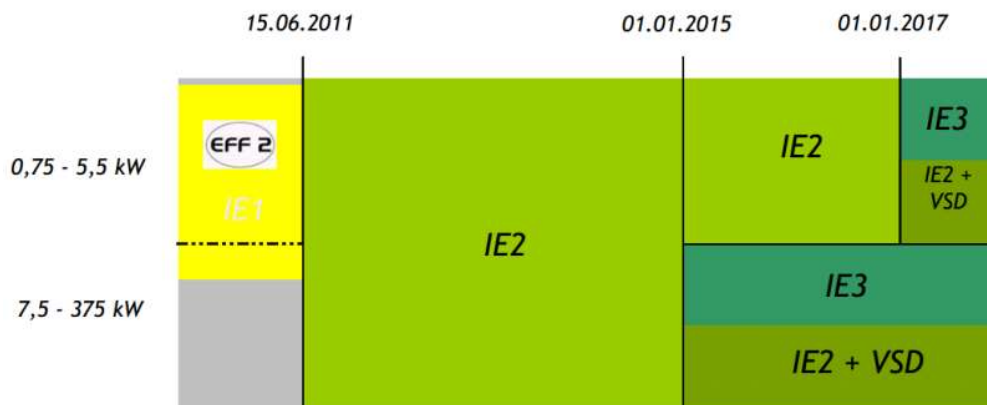


Figura 5: Clases de eficiencia de nuevos motores a instalar según el Reglamento CE 640/2009

2.2.1.2 Objetivo

Sustitución de motores por otros de mayor eficiencia energética en aquellos casos en los que el ahorro proporcionado por los mismos justifique la inversión.

Para evaluar el retorno económico derivado de la sustitución de un motor por otro debe evaluarse los costes del ciclo de vida del motor, en el que se incluyen los costes de energía, costes de mantenimiento y el coste de inversión.

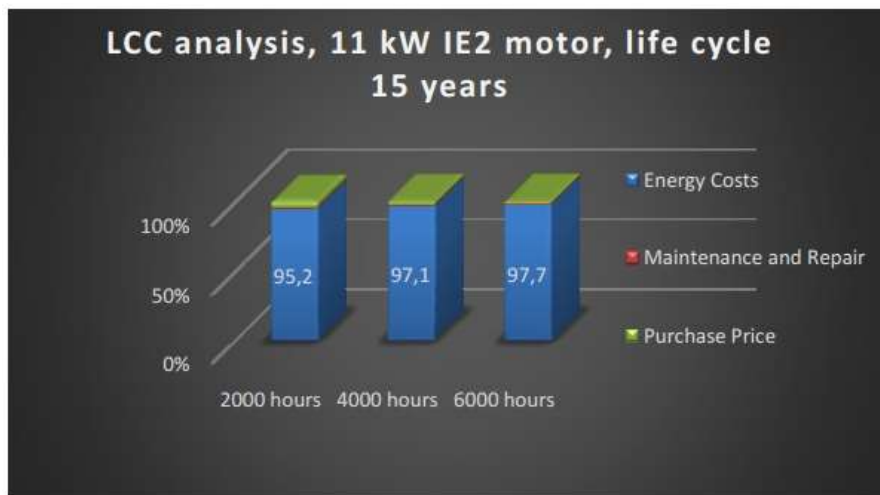


Figura 6: Análisis de costes del ciclo de vida. Fuente “Almeida, Ferreira, Fong & Fonseca, 2008”.

Los principales motivos a tener en cuenta a la hora de evaluar la necesidad de sustituir un motor son:

- Sobredimensionamiento. En muchos casos de uso, y en el de las EDAR con gran frecuencia, se utilizan criterios de robustez para el dimensionamiento de los equipos, que va ligado directamente a un aumento de la ineficiencia energética debido a que el motor trabaja fuera de régimen nominal un gran porcentaje de las horas.
Un motor baja considerablemente su rendimiento cuando la carga baja del 50%.
- Antigüedad. Un motor antiguo en funcionamiento ha sufrido una pérdida de su rendimiento inicial con el consecuente aumento de consumo energético. Normalmente en los motores antiguos se realizan mantenimientos que conllevan su rebobinado. Se considera que después de 2 o 3 rebobinados la eficiencia de un motor puede disminuir un 2%.
- Eficiencia. Atendiendo a criterios de la mejora del rendimiento energético del motor.

2.2.1.3 Procesos afectados

La solución descrita es aplicable en los siguientes procesos de la EDAR:

- Pretratamiento
- Tratamiento primario
- Tratamiento secundario
- Línea de lodos

2.2.1.4 Datos principales necesarios para evaluación de la medida

Para cuantificar el ahorro de una forma fiable es necesario disponer de profesionales cualificados y disponer a su vez de equipos de medida precisos enfocados para el análisis del rendimiento del motor, lo cual no es sencillo de encontrar. Por este motivo, en muchos casos la evaluación del rendimiento del motor existente debe realizarse en base a datos estimados obtenidos de las placas de características, información del personal de mantenimiento sobre los rebobinados realizados, información del fabricante...

Los datos que deben tenerse en cuenta para hacer la evaluación de la medida son:

- Datos técnicos:
 - o Potencia nominal del motor.
 - o Vida útil.
 - o Voltaje y frecuencia.
 - o Número de polos.
 - o Rendimiento nominal.
- Datos de funcionamiento:
 - o Perfil de carga.
 - o Curva de rendimiento en función del perfil de carga.
 - o Horas de funcionamiento.
 - o Nº de rebobinados.
- Datos económicos.
 - o Coste de la energía eléctrica.
 - o Coste de mantenimiento.
 - o Tasa de evolución de los precios de la energía.
 - o Tasa de evolución del coste de mantenimiento.

- Inversión inicial.

2.2.1.5 Cálculo del ahorro

Se pueden llegar a alcanzar ahorros de hasta un 12% con la implementación de esta solución.

2.2.1.5.1 Método de cálculo

Para el cálculo del ahorro energético es preciso conocer:

El cálculo del ahorro energético (kWh) debe aplicarse la siguiente fórmula:

$$\text{Ahorro energético (kWh)} = \text{Consumo actual (kWh)} - \text{Consumo futuro (kWh)}$$

$$\text{Consumo actual} = \frac{P_{\text{actual}} * h * FC}{\eta_{\text{actual}}}$$

(a) Si se modifica la potencia del motor futuro: $\text{Consumo futuro} = \frac{P_{\text{propuesta}} * h * FC}{\eta_{\text{futuro}}}$

(b) Si no se modifica la potencia del motor actual: $\text{Consumo futuro} = \text{consumo actual} * \frac{\eta_{\text{actual}}}{\eta_{\text{futuro}}}$

siendo,

P: Potencia instalada motor (kW)

h: Número de horas anuales de funcionamiento.

FC: Factor de carga (%).

η : Rendimiento del motor.

2.2.1.5.2 Medidas en campo

Tabla 1. Equipos de medida recomendados

Equipo de medida	Parámetros medidos
Pinza amperimétrica	Medida de la Potencia y estimación del resto de parámetros
Analizador de redes	Medida del consumo actual durante un periodo acotado. Estimación para un año.
Equipo específico medida motores	Medida de todos los parámetros de funcionamiento del motor (potencia, horas, factor de carga, rendimiento)

2.2.1.5.3 Casos de aplicación

Se recomienda la sustitución por motores de alta eficiencia en los siguientes casos:

- Motores entre 0,75- 15kW con clase eficiencia IE1 y más de 4.000h de funcionamiento.
- Motores de más de 15kW con clase eficiencia IE1 y más de 5.000h de funcionamiento.
- Motores con clase de eficiencia IE2 y más de 8.000h de funcionamiento.

Tabla 2. Cuadro resumen casos de aplicación sustitución motores

Rango potencia motor a evaluar	Clase eficiencia motor actual	Nº horas mínima (h/año)
Motores entre 0,75 – 15 kW	IE1	4.000 h
Motores > 15kW	IE1	5.000h
Motores todos rangos potencia	IE2	8.000h

Hay que destacar, que en caso de motores que no dispongan de variador de velocidad y su instalación sea de interés, es más recomendable priorizar la inversión en el variador antes que en el motor.

2.2.1.6 Casos de referencia

La EDAR de Arroyo de Quiñones tiene implantados en sus instalaciones motores de alta eficiencia tipo IE4, cuatro de ellos son para el accionamiento de soplantes de 160 kW –que suministran aire a los procesos biológicos y otros procesos–, otros tres para soplantes accionadas por motores de 15 kW. Además, otros cuatro motores se emplean para el accionamiento de bombas de recirculación de lodos de 15 kW.

Otras EDAR que han implantado esta solución son, por ejemplo:

- EDAR Altea
- EDAR Pinedo

2.2.2 Reposición de motores averiados por motores de alta eficiencia

2.2.2.1 Contexto

Como se explicó en el punto anterior, un número importante de equipos de las EDAR utilizan motores para su funcionamiento. El cambio de motores por motores de mayor eficiencia, una vez que sea necesaria la reposición, supone una disminución en el consumo energético de toda la planta, y es habitual que la reducción de costes compense la diferencia de la inversión realizada.

Además, desde el 01/01/2017 (de acuerdo al Reglamento (CE) 640/2009) sólo se permite instalar motores IE3 en potencias desde 0,75kW a 375kW o, como alternativa, motor IE2 accionado por variador de frecuencia.

Esta medida es muy similar a la anterior, con la diferencia de que, mientras en el caso anterior los cambios se proponían en cualquier momento del ciclo de vida del motor, en este la sustitución se produce cuando una avería en los motores hace necesario su cambio.

2.2.2.2 Objetivo

Sustitución de motores por otros de mayor eficiencia energética una vez haya finalizado la vida de los mismos.

A la hora de seleccionar un motor que sustituya al averiado, debe valorarse no sólo el coste de la inversión inicial, sino también los costes de mantenimiento y de consumo a lo largo de su ciclo de vida.

Entre las ventajas de optar por un motor IE3 o superior, además del ahorro derivado de un menor consumo, están:

- Se reduce el aumento de temperatura del motor, al producirse menos pérdidas, con lo que se incrementa su vida útil.
- Permite operaciones en regímenes intermitentes, con picos de carga superiores al nominal.
- Tienen mayor reserva de potencia para operar en ambientes con temperaturas superiores a 40°C y en zonas de altitudes superiores.
- Son más adecuados en las aplicaciones con variadores de frecuencia
- Reducido coste de mantenimiento

2.2.2.3 Procesos y equipos afectados

La solución descrita es aplicable en los siguientes procesos de la EDAR:

- Pretratamiento
- Tratamiento primario
- Tratamiento secundario
- Línea de lodos

Los equipos afectados por esta medida de mejora son los motores eléctricos con necesidad de control de velocidad de cualquiera de los procesos anteriores.

2.2.2.4 Casos de aplicación

La diferencia de costes entre motores IE2, IE3 e IE4 es poco significativa en comparación con la reducción de costes energéticos que pueden implicar en este caso. A partir de las 2.000 horas de funcionamiento se producen amortizaciones atractivas (entre 0,5 y 2,5 años) al instalar un motor más eficiente en estos casos donde la reposición del motor tiene que hacerse por cese de funcionamiento. Por debajo de 2.000 horas de funcionamiento se recomienda analizar más profundamente el caso.

2.2.2.5 Datos principales necesarios para evaluación de la medida

Los datos que deben tenerse en cuenta para hacer la evaluación de la medida son:

- Datos técnicos:
 - o Potencia nominal del motor.
 - o Vida útil.
 - o Voltaje y frecuencia.
 - o Número de polos.
 - o Rendimiento nominal.
- Datos de funcionamiento:
 - o Perfil de carga.
 - o Curva de rendimiento en función del perfil de carga.
 - o Horas de funcionamiento.
 - o Nº de rebobinados.
- Datos económicos.

- Coste de la energía eléctrica.
- Coste de mantenimiento.
- Tasa de evolución de los precios de la energía.
- Tasa de evolución del coste de mantenimiento.
- Inversión inicial.

2.2.2.6 Ahorro Energético

Se pueden llegar a alcanzar ahorros de hasta un 10% con la implementación de esta solución, en función de las características de los motores sustituidos.

El cálculo del ahorro esperado se realizará de forma análoga a la Medida 2.2., aplicando la fórmula:

$$\text{Ahorro energético (kWh)} = \text{Consumo actual (kWh)} - \text{Consumo futuro (kWh)}$$

(a) Si se modifica la potencia del motor futuro: $\text{Consumo futuro} = \frac{P_{\text{propuesta}} * h * FC}{\eta_{\text{futuro}}}$

(b) Si no se modifica la potencia del motor actual: $\text{Consumo futuro} = \text{consumo actual} * \frac{\eta_{\text{actual}}}{\eta_{\text{futuro}}}$

siendo,

P: Potencia instalada motor (kW)

h: Número de horas anuales de funcionamiento.

FC: Factor de carga (%).

η : Rendimiento del motor.

Por otro lado, para elegir entre varios motores tendremos que evaluar el rendimiento de cada uno, y el consumo esperado en cada caso, para establecer si la inversión realizada en un motor de mayor eficiencia se recupera en un plazo razonable.

Por ejemplo, si comparamos un motor de 90kW 4polos, de acuerdo a la IEC-60034-30:

Tabla 3. Comparativa motores 90 kW

	Rendimiento Estándar	Horas funcionamiento	Consumo anual esperado kWh	Coste anual
IE2	94,20%	8.500	812.102	97.450 €
IE3	95,20%	8.500	803.571	96.428 €

Tomando un precio de la energía eléctrica de 0,12€/kWh, el ahorro anual conseguido serían 1.022€. Teniendo en cuenta que las diferencias de precio entre ambos motores están en el orden de los 2.000€, la inversión se recuperaría aproximadamente en dos años y en este caso la compra de un motor más eficiente estaría más que justificada.

En el caso de disminuir las horas de trabajo del motor, se observa que, si el mismo motor tuviese un horario de funcionamiento mucho menor, 500 horas/año, el ahorro bajaría a 60€/año. El período de recuperación de la inversión sería superior a 20 años,

2.2.2.7 Casos de referencia

Entre las EDAR que han implantado esta solución están:

- EDAR Altea
- EDAR Orihuela

2.2.3 Sustitución de motores sobredimensionados

2.2.3.1 Contexto

Es habitual encontrarse en la industria motores sobredimensionados para el trabajo que realizan. Durante la fase de diseño se tiende a sobredimensionar estos equipos con objeto de proporcionar versatilidad para futuras sobrecargas y también con objeto de reducir riesgos en el cálculo y selección, en muchos de los casos estas medidas no están justificadas. Existen estudios que indican que en la actualidad al menos un tercio de los motores en la industria están sobredimensionados. Los motores que funcionan con factores de carga bajos presentan un descenso significativo en el rendimiento, el cual disminuye exponencialmente.

2.2.3.2 Objetivo

Sustitución de aquellos motores que se encuentren sobredimensionados, siempre y cuando su sobredimensionamiento sea de una magnitud suficiente como para afectar al rendimiento.

2.2.3.3 Procesos y equipos afectados

La solución descrita es aplicable en los siguientes procesos de la EDAR:

- Pretratamiento
- Tratamiento primario

- Tratamiento secundario
- Línea de lodos

2.2.3.4 Casos de aplicación

Como en las propuestas anteriores, es necesario analizar la sustitución en aquellos motores que trabajan más de 2.000 h al año y que funcionan a una carga de menos del 50% de su potencia nominal.

Cuando estos motores están significativamente sobredimensionados se recomienda sustituir por motores de la potencia adecuada y de mayor eficiencia.

Cuando estos motores están sólo moderadamente sobredimensionados se recomienda sustituir una vez que dejen de funcionar.

2.2.3.5 Datos principales necesarios para evaluación de la medida

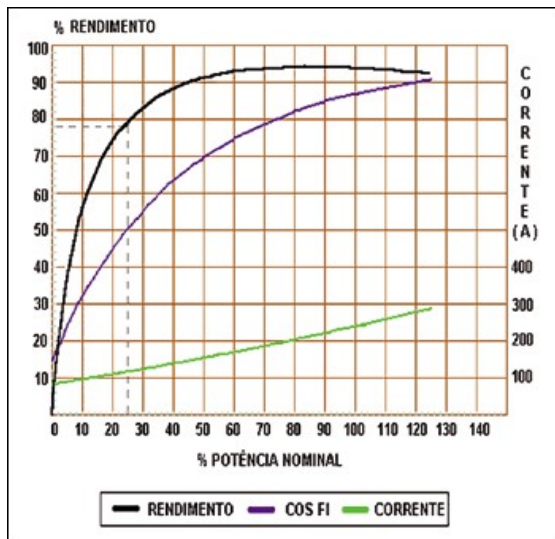
Los datos que deben tenerse en cuenta para hacer la evaluación de la medida son:

- o Horas de funcionamiento
- o Carga del motor
- o Eficiencia del motor a la carga de funcionamiento
- o Características del motor
- o RPM a máxima carga
- o Tensión, intensidad y factor de potencia.
- o Coste de la energía eléctrica

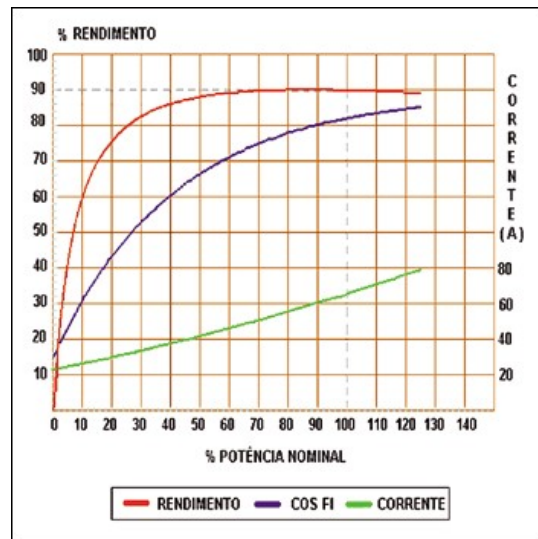
2.2.3.6 Ahorro Energético

Se pueden llegar a alcanzar ahorros de hasta un 25% con la implementación de esta solución, siempre dependiendo de las características del motor sustituido y del nuevo.

Los motores sobredimensionados trabajan en un punto donde el rendimiento y el factor de potencia no son óptimos. Por ejemplo, consideremos un motor de 100kW operando solamente con un 25% de la carga, es decir, haciendo el trabajo de un motor de 25kW. El rendimiento del motor es de aproximadamente 78% y su factor de potencia está en torno al 0,5.



Motor 100 kW



Motor 25 kW

Figura 7: Curvas de rendimiento motores 100kW vs 25kW. Fuente WEG

Si tomamos la curva del motor adecuado, de 25 kW trabajando al 100%, el rendimiento y factor de potencia están en puntos optimizados, siendo respectivamente 90,1% y 0,82.

Calculando de una forma aproximada el consumo esperado por hora de trabajo para cada uno:

$$P_{100} = 100 \text{ kW} \times 0,25 / 0,78 = 32,05 \text{ kWh}$$

$$P_{25} = 25 \text{ kW} \times 1 / 0,901 = 27,75 \text{ kWh}$$

Es decir, en este caso se obtendría un ahorro energético de 13,5%. Además, la mejora del factor de potencia disminuye el consumo de energía reactiva de la planta.

2.2.3.7 Casos de referencia

Entre las EDAR que han implantado esta solución está, por ejemplo, la EDAR Murcia.

2.3 BOMBAS

2.3.1 Sustitución de bombas sobredimensionadas

2.3.1.1 Contexto

Es habitual encontrarse estos sistemas de bombeo sobredimensionados para el caudal y altura necesaria. Durante la fase de diseño se tiende a sobredimensionar, con objeto de proporcionar versatilidad para futuras sobrecargas, con objeto de reducir riesgos en el cálculo y en la selección, así como para proporcionar mayor robustez del sistema. Esta situación supone que las bombas trabajen normalmente en puntos alejados del óptimo de trabajo.

2.3.1.2 Objetivo

Adecuar los equipos de bombeo a las condiciones demandadas con objeto de que trabajen en puntos óptimos de rendimiento.

2.3.1.3 Procesos y equipos afectados

La solución descrita es aplicable en los siguientes procesos de la EDAR:

- Estaciones de bombeo de diversos procesos.

Los equipos afectados por esta medida de mejora son las bombas.

2.3.1.4 Casos de aplicación

EDAR con consumos elevados en el bombeo de aguas y lodos, debido al sobredimensionado de los equipos. La utilización de variadores de frecuencia es una opción a plantear, si el perfil de caudales demandado es variable, en caso negativo, la sustitución de la bomba es una opción a analizar.

2.3.1.5 Datos principales necesarios para evaluación de la medida

Los datos que deben tenerse en cuenta para hacer la evaluación de la medida son:

- Perfil de caudal demandado
- Perfil de presiones
- Horas de funcionamiento anual

2.3.1.6 Ahorro Energético

Se pueden llegar a alcanzar ahorros de hasta un 30% con la implementación de esta solución.

Todas las bombas deben funcionar dentro de especificaciones de la bomba en cuestión (generalmente estipuladas en el manual de instrucciones / hoja de datos suministrado por el fabricante de la bomba). La eficiencia de la bomba varía según sus parámetros de funcionamiento. Las bombas están diseñadas para ofrecer un funcionamiento óptimo en el punto de máximo rendimiento (BEP), pero fuera de ese punto óptimo se pierde rápidamente eficiencia y baja el rendimiento.

El punto de funcionamiento de la bomba debe estar lo más próximo posible al BEP. A modo referencia, se establecen los siguientes rangos de trabajo en una bomba (Fuente IDAE):

- Rango admisible: caudal entre el 20% y el 150% del nominal.
- Rango adecuado: caudal entre el 66% y el 115% del nominal.
- Rango óptimo: caudal entre el 85% y el 105% del nominal.

Una bomba trabajando un 40% por debajo de su punto óptimo fuera del punto óptimo, verá caer su rendimiento prácticamente a la mitad:

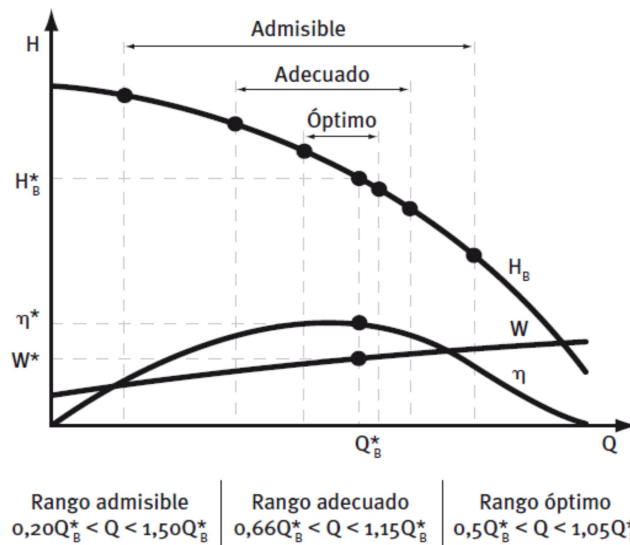


Figura 8: Rangos de funcionamiento de una bomba. Fuente: IDAE

Puesto que el consumo energético de la bomba viene dado por:

$$\text{Consumo} = \frac{\text{Demanda}}{\text{Rendimiento}}$$

En caso de cambio a una bomba de más ajustada y con mejor rendimiento, la disminución del consumo (kWh) será la diferencia entre la Demanda actual/rendimiento actual y Demanda actual/rendimiento nuevo.

Pero además de reducir la eficiencia de la bomba, generando el consiguiente sobrecoste energético, el funcionamiento en niveles alejados del "BEP" acelera su desgaste y empeora su fiabilidad. Por ejemplo, un funcionamiento al 60% del BEP supone:

- Una reducción del 50% de la vida útil de las juntas
- Una reducción del 20% de la vida útil de los cojinetes
- Una reducción del 25% de la vida útil del impulsor y el cuerpo de la bomba
- Un incremento aproximado del 100% en costes de mantenimiento.

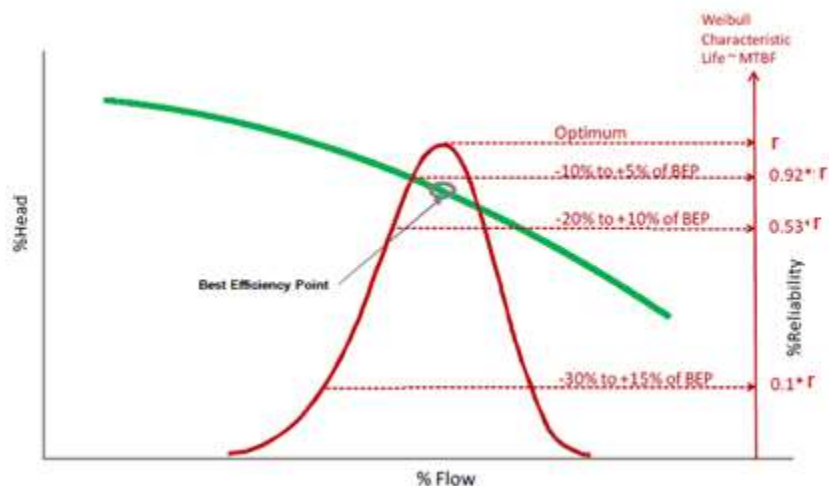


Figura 9: Impacto sobre la fiabilidad de la bomba de la distancia al BEP. Fuente: Schneider

2.3.1.7 Casos de referencia

En la figura que se muestra a continuación podemos observar el rendimiento de una bomba de agua bruta de una EDAR (35 kW) y el de un equipo de menor potencia instalado posteriormente (13,5 kW). Resulta significativa la diferencia de rendimiento entre ambos equipos en el rango de caudales seleccionado por la explotación (200-240 m³/h), lo que hace amortizable rápidamente el suministro del nuevo equipo de menor potencia.

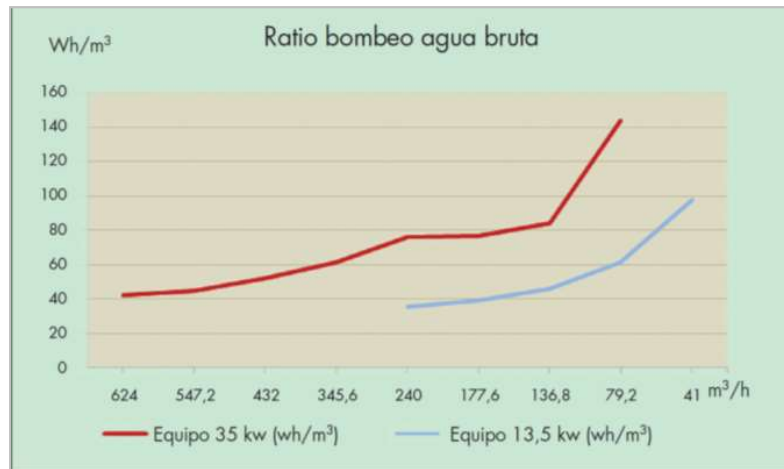


Figura 10: Rendimiento de 2 bombas en función del caudal impulsado. Fuente "Simón, P. et al (2012).

Optimización energética en EDAR de la Región de Murcia. *Ingeniería Civil nº168/2012; pp 93-112*".

La gráfica muestra como, para bombear 1 m³ de agua, la bomba de 35 kW necesita unos 78 Wh, mientras que la de 13,5 sólo utilizaría 38 Wh, la mitad de energía para obtener el mismo resultado.

2.4 PROCESO DE AIREACIÓN

2.4.1 Implantación de tecnología de aireación por difusión

2.4.1.1 Contexto

El suministro de aire es un proceso crítico en el tratamiento de aguas residuales. Los sistemas de aireación de una EDAR consumen entre el 25% y el 70% de la energía de una EDAR.

Los sistemas de aireación más empleados son los de superficie y los de difusión. Mientras que en los de superficie el aire es disuelto en el agua mediante equipos parcialmente sumergidos que agitan en agua residual, en los de difusión el aire es inyectado desde la parte baja del tanque de aireación formando burbujas que ayudan a difundir el aire en el agua residual y romper la estratificación de la columna de agua.

Los sistemas de superficie implican una menor inversión y tienen unos costes de mantenimiento menor, los de difusión son más eficientes energéticamente por lo que presentan menores costes de operación. Los ratios de consumo energético suelen situarse entre 1,8-2,0 kg O₂/kWh para los sistemas de superficie y entre 3-5 kg O₂/kWh para los sistemas de difusión.

2.4.1.2 Objetivo

Sustitución de tecnologías de aireación superficial por tecnología de aireación por difusión para mejora de la eficiencia de la aireación.

2.4.1.3 Procesos y equipos afectados

La solución descrita es aplicable en los siguientes procesos de la EDAR:

- Tratamiento secundario

Los equipos afectados por esta medida de mejora son los sistemas de aireación.

2.4.1.4 Casos de aplicación

Debido a la reducción de costes de operación (fundamentalmente debido a la disminución del consumo energético) que presentan los sistemas de difusión, y al incremento de los costes de mantenimiento e inversión que conllevan, la medida producirá ahorros más significativos cuanto mayor sea el consumo energético del sistema de aireación.

2.4.1.5 Datos principales necesarios para evaluación de la medida

El objetivo fundamental de todo sistema de aireación es transferir oxígeno a la mezcla de lodos y que este oxígeno disuelto pueda ser utilizado por los distintos microorganismos. Existen numerosas variables del sistema de aireación que afectan a los rendimientos en esta transferencia de oxígeno.

Los datos que deben tenerse en cuenta para hacer la evaluación de la medida son:

- Tipo de aireación superficial empleada
- Tipo de difusor propuesto
- Numero de difusores
- Presión disponible
- Profundidad del tanque
- Área del tanque
- Coste de la energía eléctrica

2.4.1.6 Ahorro energético

Se pueden llegar a alcanzar ahorros de hasta un 50% con la implementación de esta solución.

Una forma sencilla de hacer una valoración rápida del ahorro conseguido es utilizar ratios de transferencia de oxígeno- eficiencia estándar de un aireador, ampliamente consensuados para cada tecnología.

Para ello necesitamos establecer el Standard Oxygen Transfer Rate (SOTR): cantidad de oxígeno transferido por el aireador en una hora en un agua limpia a 20°C con 0 mg/l O₂ (se expresa en kg/hora), facilitado por el fabricante del equipo. A partir de ahí se establece el Standard Aerator Efficiency (SAE): SOTR dividido por la potencia del aireador (se expresa en kg de oxígeno por kilowatio y hora).

La tabla que se muestra a continuación puede tomarse como una referencia aproximada de los niveles de ahorro energético esperados. El cálculo del ahorro real debe realizarse mediante pruebas de transferencia de O₂.

Tabla 4. Comparativa SAE/Tecnología. ASCE WEF Manual of Practice 8: Design of Municipal Wastewater Treatment Plants

Tipo de aireador	SAE kg O ₂ /kWh
Jet Aerator	0,8-1,5
Aireadores mecánicos	0,9-2,2
Burbuja gruesa	0,5-2,0
Burbuja fina (Tipo Tubular)	2,0-4,0
Burbuja fina (Tipo Disco-Alta densidad)	4,0-6,0

De acuerdo a la tabla anterior, en igualdad de requisitos de funcionamiento, el ahorro aproximado va a depender del sistema a sustituir y del sistema seleccionado. En caso de reemplazar un sistema de aireadores mecánicos por un sistema de difusión de burbuja fina tipo tubular, la diferencia de energía (kWh) necesario para aportar 1 Kg de O₂ podría ser de hasta 0,86 kWh/Kg, en función de los rendimientos iniciales y finales. Asumiendo un precio de electricidad de 0,12€/kWh, estaríamos hablando de una diferencia de coste de 10,3 cent€/KgO₂

2.4.1.7 Casos de referencia

La EDAR de Estepona-Málaga se ha ampliado y remodelado recientemente para ampliar su capacidad de tratamiento a 100.000m³/día, lo que implica una población servida de 5000.000 h.e.. La oxigenación en las instalaciones existentes se realizaba mediante rotores superficiales, 4 por reactor de 6 m. de longitud. En la nueva línea de tratamiento, la oxigenación se realiza por turbo-soplantes y difusores de burbuja fina.

Otra EDAR que ha implantado esta solución es , por ejemplo la EDAR Bens.

2.4.2 Sustitución de difusores por difusores de alta eficiencia

2.4.2.1 Contexto

Uno de los sistemas más extendidos para la aireación de reactores son los sistemas de aireación mediante difusores. El empleo de difusores con un tamaño de burbuja menor supone un aumento en la capacidad para difundir oxígeno al agua, al tener mayor superficie efectiva, y por tanto una mayor eficiencia. Una mala eficiencia en la difusión de aire genera mayores consumos energéticos.

Los difusores se categorizan según el diámetro de burbuja que generan:

- burbuja gruesa (6mm)
- burbuja fina (3 mm)
- burbuja muy fina (1mm)

Es importante tener en cuenta que el tipo de difusor influye en la frecuencia de limpieza y la presión necesaria para impulsar el aire, tamaños pequeños de poro implica mayor tendencia al fouling (obstrucción). Por ello, se recomienda el uso de difusores de burbuja gruesa en aplicaciones más exigentes, como fangos y aguas residuales industriales.

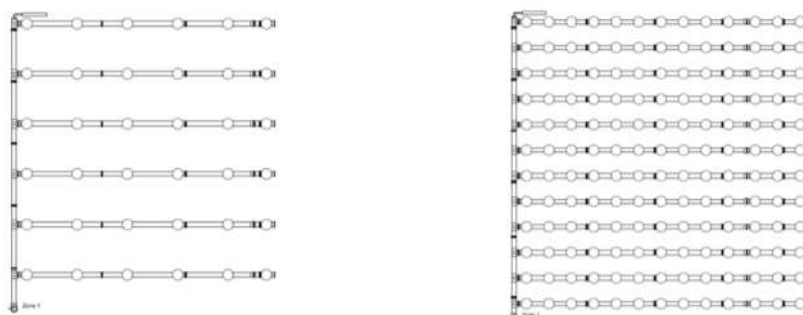


Figura 11: Parillas difusores burbuja gruesa vs fina. Fuente Xylem

2.4.2.2 Objetivo

Sustitución de las membranas de los difusores por unas de burbuja más fina, que generen mayor SOTE (Standard Oxygen Transfer Efficiency) y que por tanto requieran menor caudal de aire.

2.4.2.3 Procesos y equipos afectados

La solución descrita es aplicable en los siguientes procesos de la EDAR:

- Tratamiento secundario

Los equipos afectados por esta medida de mejora son los difusores.

2.4.2.4 Casos de aplicación

Puesto que se trata de sustituir sistemas de difusión ya existentes por otros más eficientes, es una mejora que está orientada a EDAR con difusores de burbuja gruesa con agitación separada del proceso de aireación.

2.4.2.5 Datos principales necesarios para evaluación de la medida

Los datos que deben tenerse en cuenta para hacer la evaluación de la medida son:

- Tipo de difusor
- Tamaño de la burbuja generada
- Numero de difusores
- Presión disponible
- Profundidad del tanque
- Área del tanque

2.4.2.6 Ahorro energético

Se pueden llegar a alcanzar ahorros de hasta un 30% con la implementación de esta solución.

Para entender porqué se produce este ahorro vamos a analizar uno de los parámetros utilizado para establecer la eficiencia de un difusor: la Eficiencia Estándar de Transferencia de Oxígeno, SOTE (siglas en inglés), siendo las condiciones estándar 20 °C y 1 atm. de presión.

$$SOTE = \frac{\text{Cantidad de Oxígeno Transferido}}{\text{Cantidad de Oxígeno en el aire}} (\%)$$

Las curvas SOTE son facilitadas por los fabricantes.

Los difusores con un SOTE mayor serán más eficientes, requiriendo menor flujo de aire y menor energía para conseguir igual transferencia de oxígeno, bajo condiciones iguales de temperatura y presión.

En el caso de los difusores por burbujas, el tamaño de la burbuja es uno de los factores más importantes para la eficiencia del sistema. Mientras más pequeñas son las burbujas mayor será la superficie de contacto por volumen de aire y mayor la transferencia de O₂.

Además, su velocidad de ascenso será menor conduciendo a un mayor tiempo de contacto, y mejorando la transferencia. Por lo tanto, un sistema de burbuja fina necesita menos aporte de aire, presenta un SOTE mayor y requiere menos trabajo de las soplantes para conseguir la misma transferencia de O₂ que uno de burbuja gruesa

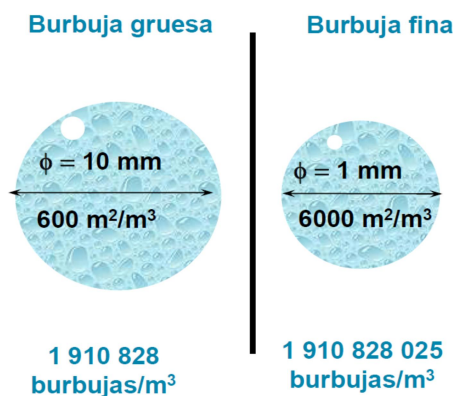


Figura 12: Tamaño burbuja gruesa vs fina. Fuente Xylem

Para analizar el ahorro energético esperado por el uso de burbuja fina, podemos comparar dos soluciones comerciales, procedentes de la misma empresa:

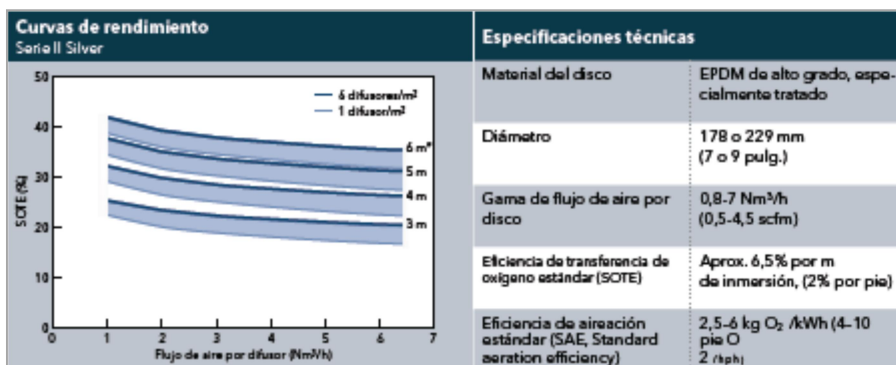


Figura 13: Características técnicas de los difusores burbuja fina. Fuente Xylem

	Especificaciones técnicas	
	Material	Acero inoxidable AISI 304 o 316
	Longitud	305 o 610 mm (12 o 24 pulg.)
	Gama de flujo de aire por banda	15-63 Nm ³ /h (10-40 scfm)
	Eficiencia de transferencia de oxígeno estándar (SOTE)	1,6-2,5% por m de inmersión (0,5-0,8% por pie)
Eficiencia de aireación estándar (SAE)	0,7-2 kg O ₂ /kWh (1,1-3,5 lib. O ₂ /kWh) (2 rph)	

Figura 14: Características técnicas de los difusores burbuja gruesa. Fuente Xylem

La SOTE en el caso de los difusores de burbuja fina es de un 6,5% por metro de inmersión, mientras que para la burbuja gruesa es inferior al 2,5% por metro de inmersión.

Por otro, el SAE de los difusores de burbuja fina es de 2,5-6 kg O₂/kWh frente a los 0,7-2 kg O₂/kWh de los de burbuja gruesa. Es decir, en el mejor de los casos necesitaríamos 0,5 kWh para obtener 1 kg de O₂ con el sistema de burbuja gruesa, frente a los 0,167 kWh necesarios con un sistema más eficiente de burbuja fina.

Un aspecto que debe tenerse en cuenta también en la valoración del sistema seleccionado es el coste de instalación y de operación y mantenimiento. Los sistemas de burbuja gruesa requieren una inversión inicial menor, puesto que necesitan un menor número de difusores, pero presentan un SOTE inferior y requieren un mayor caudal de aire.

La comparación de los valores de SOTE dados fabricantes permitirá una comparación entre difusores de distintos fabricantes bajo condiciones iguales, estándar. Sin embargo, la eficiencia real del sistema biológico dependerá de las características particulares de su proyecto.

2.4.2.7 Casos de referencia

En la EDAR de Archena, dentro del proyecto Life Renewat, se han instalado difusores de aire planos de alta eficiencia de poliuretano en el fondo de los reactores biológicos, en sustitución de los convencionales existentes. Con estos difusores se consigue una mejor transferencia de oxígeno al licor mezcla, reduciendo de esta manera la demanda de aire y, por tanto, el consumo energético. Esta medida, unida a la instalación de una turbosoplante, ha supuesto una reducción del consumo de la etapa de aireación superior al 28%.

Otras EDAR que han implantado esta solución son, por ejemplo:

- EDAR Águilas
- EDAR de Chantada
- EDAR Miranda de Ebro
- EDAR Burgos
- EDAR Bens

2.4.3 Limpieza del circuito de aireación

2.4.3.1 Contexto

Disminuir la pérdida de carga existente en el circuito de aireación implica disminuir la energía necesaria para la correcta oxigenación del reactor. Se trata de un circuito por el que circula una cantidad de aire muy significativa y de manera continuada, y por lo tanto cualquier aumento en la eficiencia de este proceso repercutirá significativamente en la factura energética.

La acumulación de materia orgánica e inorgánica en la superficie de los difusores puede colmatar sus poros, esto produce el aumento de las pérdidas de carga en el difusor y afecta negativamente al rendimiento de transferencia de oxígeno de la instalación. Para compensarlo, se produce un aumento en las horas de funcionamiento de los equipos de aireación y, por consiguiente, un incremento del consumo energético.

Por otro lado, los propios tubos que transportan el aire a los difusores pueden ir llenándose parcialmente de lodos, con un efecto similar. Ambas situaciones pueden representar un aumento importante de los costes de operación de la planta.

Para evitar el incremento del consumo energético y otros efectos adversos, debe diseñarse un plan de limpieza de los elementos del sistema de aireación, que incluya actuaciones de mantenimiento preventivo, como la limpieza periódica aumentando caudal de aire por difusor o la limpieza mecánica sin desmontar el difusor, pero también correctivo, como la inyección de ácido de limpieza a la tubería de distribución de aire para limpiar los poros.

2.4.3.2 Objetivo

Limpieza química/mecánica de difusores y circuito de aireación del reactor biológico con objeto de minimizar las pérdidas de carga, lo que conllevará una menor potencia demandada por las soplantes.

2.4.3.3 Procesos y equipos afectados

La solución descrita es aplicable en los siguientes procesos de la EDAR:

- Tratamiento secundario

Los equipos afectados por esta medida de mejora son los difusores y el circuito de aireación.

2.4.3.4 Casos de aplicación

Cada EDAR presenta una casuística muy particular, debido al tipo de agua que trata y al diseño de su sistema de aireación. En todo caso, es recomendable realizar una limpieza en aquellas EDAR que lleven al menos un año en funcionamiento y evaluar la variación de presión en la salida de las soplantes o el consumo energético de las mismas antes y después de la operación de limpieza.

2.4.3.5 Datos principales necesarios para evaluación de la medida

Si se poseen datos históricos del consumo de los soplantes o de la presión a la salida de las mismas, es interesante analizarlos pues su incremento puede ser debido a un incremento de carga debido a suciedad en el circuito o en los difusores.

2.4.3.6 Ahorro Energético

Se pueden llegar a alcanzar ahorros de hasta un 12% con la implementación de esta solución.

La mejora de las condiciones de difusión siempre va a suponer un ahorro, pero la valoración del ahorro obtenido en cada caso particular requiere de una metodología de medición antes y después de la limpieza.

Podemos tomar como una referencia los resultados obtenidos en estudios reales realizados, el ahorro puede ser incluso mayor mayor (Simón, P. *et al* (2015). Transferencia de oxígeno: evaluación rápida de la eficiencia de los sistemas de aireación. *Tecnoaqua* nº15 92-101)

En este estudio, se realizaron mediciones de transferencia de oxígeno desde 2.013 hasta 2.015 en sistemas de aireación de la región de Murcia con difusores de burbuja fina. Se llevó a cabo la limpieza con ácido fórmico, para eliminar incrustaciones de cal en tuberías y difusores debidas a la dureza del agua en la región, y se establecieron los % de transferencia antes, tras la limpieza y un mes después.

Los resultados muestran una clara mejora en la transferencia realizada:

Tabla 5. Variaciones de transferencia de Oxígeno por limpieza química de los difusores

EDAR	Años difusores	Situación	Oxígeno transferido (%)
EDAR 1	6	Antes limpieza química	29,8
		Después limpieza química	37,6
		Variación	26,1

EDAR 2	10	Antes limpieza química	19,4
		Después limpieza química	24,7
		Variación	27,2
EDAR 3	0,5	Antes limpieza química	19,8
		Después limpieza química (con sustitución parcial de difusores)	34,7
		Variación	75,6

El mayor incremento en la transferencia de oxígeno tras la limpieza química de los difusores se observó en la EDAR 3, pero en este caso se realizaron al mismo tiempo la limpieza química y el cambio parcial de difusores.

Analizando los resultados de las EDAR 1 y 2, en las que se efectuó únicamente la limpieza, se observa una mejora en la transferencia de O₂ superior al 25%. Esta mejora en la transferencia supone que, para obtener el mismo SOTE, las soplantes deben trabajar menos, consiguiéndose ahorros energéticos. El ahorro final obtenido dependerá de la eficiencia del sistema de soplado. Ante estos resultados, se considera esencial elaborar un plan de limpieza y realizar un seguimiento de la eficiencia del sistema antes y después de la limpieza, para establecer correctamente los ahorros alcanzados.

2.4.3.7 Casos de referencia

En la EDAR Buñol-Alborache sirve a 9.609 h.e. y trata un caudal de 3.774 m³/día. En sus instalaciones se evaluó la mejora de eficiencia tras la limpieza con ácido fórmico del sistema de aireación durante un período de 4 años:

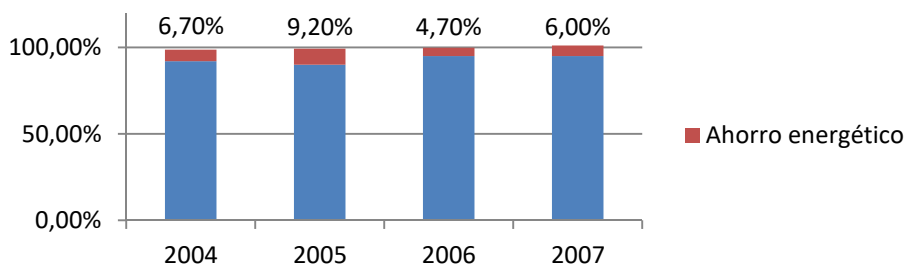


Figura 15: Ahorro tras limpieza de difusores. Fuente: OMS -SACEDE SA

Durante el período de seguimiento mostrado se consiguió un ahorro energético medio de 6,65%.

Otra EDAR que ha implantado esta medida es la EDAR Torrox Manzano

2.4.4 Reposición de difusores averiados o con pérdida de rendimiento

2.4.4.1 Contexto

Todas las membranas a medida que pasa el tiempo incrementan las pérdidas de carga. Esto se debe principalmente a que son elementos elásticos, y van perdiendo esa elasticidad con el uso, originando burbujas cada vez más gruesas.

Aunque en un principio estas pérdidas se pueden reducir con limpiezas específicas, llega un punto en que existe un desgaste de la membrana irreversible. Con este desgaste se reduce el rendimiento, con lo que los consumos se incrementan.

A partir de los 10 años el desgaste suele ser considerable, aunque es un factor que depende del tipo de aguas a tratar, por lo que es necesario comprobar periódicamente su estado.

2.4.4.2 Objetivo

Sustitución de los difusores dañados cuya pérdida de eficacia produce una reducción del SOTE.

2.4.4.3 Procesos y equipos afectados

La solución descrita es aplicable en los siguientes procesos de la EDAR:

- Tratamiento secundario

Los equipos afectados por esta medida de mejora son los difusores.

2.4.4.4 Casos de aplicación

Esta medida se recomienda en EDAR que dispongan de difusores con más de 10 años de funcionamiento o en el caso que se detecte que las membranas se encuentran deterioradas.

El estudio realizado en las EDAR de la región de Murcia comentado anteriormente muestra que la transferencia de oxígeno es claramente inferior en la EDAR con más antigüedad de sus difusores.

Tabla 6. Mediciones de transferencia de Oxígeno a distinto caudal de aireación

EDAR	Equipo de aireación y potencia	Años difusores	Transferencia de oxígeno (%)	
			Caudal máximo	Caudal mínimo
EDAR 1	Émbolos-200kW	6	22,03	34,03
EDAR 2	Émbolos-95kW	10	18,77	20,01

EDAR 3	Émbolos-140kW	0,5	18,94	23,14
EDAR 4	Émbolos-45kW	9	21,25	25,13
EDAR 5	Turbosoplante-435kW	10	34,00	37,00

2.4.4.5 Datos principales necesarios para evaluación de la medida

Los datos que deben tenerse en cuenta para hacer la evaluación de la medida son:

- Ratio de consumo energético kWh/h.e. de la EDAR.
- Ratio habitual en su rango de h.e.
- Edad y estado de los difusores.

2.4.4.6 Ahorro energético

Se pueden llegar a alcanzar ahorros de hasta un 22% con la implementación de esta solución.

En el estudio de las EDAR de Murcia, los resultados tras la sustitución de difusores muestran tasas de oxígeno transferido con una mejora de 31,4%, lo que supone que para conseguir el mismo resultado las soplantes deben trabajar menos.

Tabla 7. Variaciones de transferencia de Oxígeno por cambio de los difusores

EDAR	Años difusores	Situación	Oxígeno transferido (%)
EDAR 4	9	Antes de la sustitución	23,9
		Después de la sustitución	32,6
		Variación tras el cambio	26,9
EDAR 5	10	Antes de la sustitución	11,0
		Después de la sustitución	18,1
		Variación tras el cambio	39,3
EDAR 7	11	Antes de la sustitución	16,4
		Después de la sustitución	21,0
		Variación tras el cambio	28,0
PROMEDIO			31,4

El ahorro energético final conseguido va a depender de la eficiencia del sistema.

2.4.4.7 Casos de referencia

La sustitución de difusores se ha realizado en varias EDAR gestionadas por Aguas de Valencia, valorando el antes y después del consumo energético de las mismas:

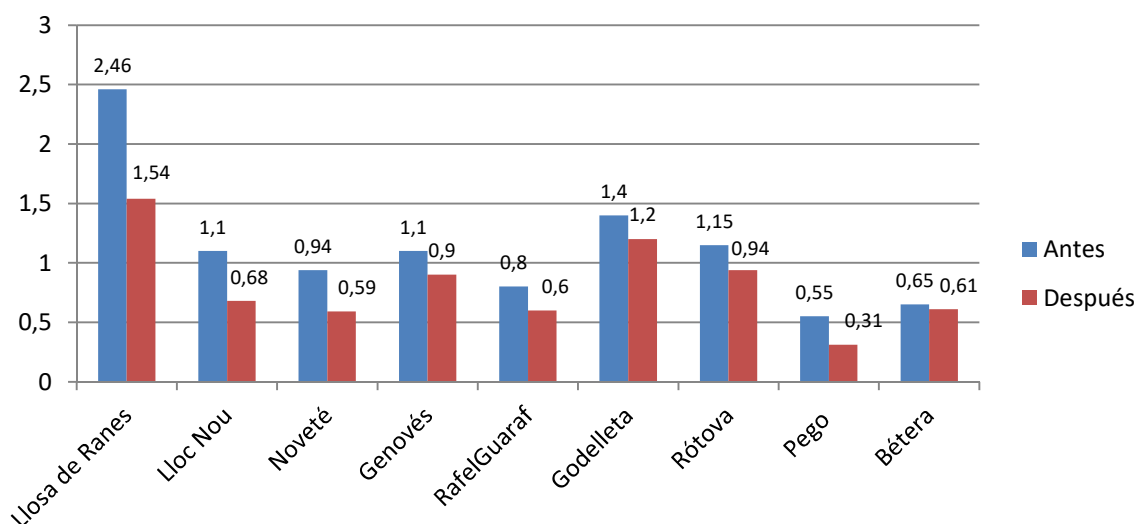


Figura 16: Ahorro tras cambio de difusores. Fuente: Aguas de Valencia

Otra EDAR que optó por la sustitución de difusores fue EDAR Águilas. Esta EDAR dispone de 2 balsas rectangulares iguales, de 27m x 116,0 y 5 ml de lámina de agua, con un SOR de 310 kg/h. En 1.995 se instalaron 1.188 difusores de membrana estándar, que se sustituyeron en 2.004 por membranas de burbuja fina. Esta modificación incrementó el SOTE de 27,4% a 31,2%, disminuyendo un 12,2% el caudal de aire total.

Otras EDAR que han implantado esta solución son, por ejemplo, la de Cabezo Baeza, alcanzando ahorros del 5,82%, y otras como:

- EDAR Huelva
- EDAR Sada
- EDAR Artá

2.4.5 Cambio en la configuración y número de difusores

2.4.5.1 Contexto

Existen plantas en las que, a pesar de disponer de difusores de alta eficiencia y soplantes dimensionadas correctamente, la eficiencia de la aireación no es la esperada. Esto puede ser debido a que el caudal por difusor es superior al recomendado por el fabricante, y difusores diseñados para producir burbuja fina están produciendo burbuja gruesa. En ocasiones cambios en el número de difusores y en su configuración pueden conllevar un aumento de la eficiencia energética.

2.4.5.2 Objetivo

Cambios en el número de difusores y en su configuración con objeto de adecuar el caudal por difusor a las condiciones óptimas.

2.4.5.3 Procesos y equipos afectados

La solución descrita es aplicable en los siguientes procesos de la EDAR:

- Tratamiento secundario

Los equipos afectados por esta medida de mejora son los sistemas de aireación.

2.4.5.4 Casos de aplicación

Para establecer la idoneidad de la adopción de esta medida es necesario controlar el consumo de sistemas de aireación y confirmar que se encuentra fuera de los valores esperados. Analizando las razones de este desvío podrá establecerse si este excesivo consumo está relacionado con una relación caudal/número de difusores fuera de rango óptimo.

2.4.5.5 Datos principales necesarios para evaluación de la medida

Los datos que deben tenerse en cuenta para hacer la evaluación de la medida son:

- Ratio de consumo energético kWh/h.e. de la EDAR.
- Ratio habitual en su rango de h.e.
- Caudal de aire
- Número de difusores

2.4.5.6 Ahorro Energético

Se pueden llegar a alcanzar ahorros de hasta un 15% con la implementación de esta solución.

Un ejemplo claro de ahorro que se puede obtener es aumentando la densidad de difusores:

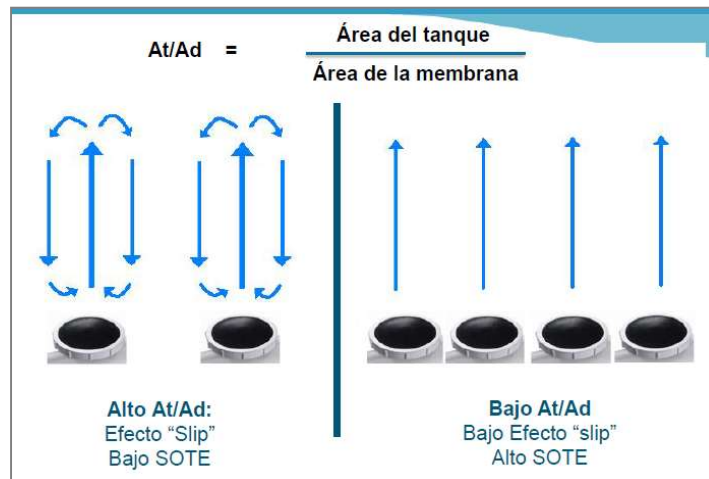


Figura 17: Área aireada. Fuente Xylem

Al aumentar los difusores se disminuye el espacio entre difusores y se disminuye el efecto "slip", debido al deslizamiento del fluido. El aire de las soplantes avanza más lentamente, aumentando el tiempo de transferencia y mejorando el SOTE. Así, para igualar el SOTE requerido son mayor número de membranas se necesita menos aire y consecuentemente se consume menos energía en las soplantes.

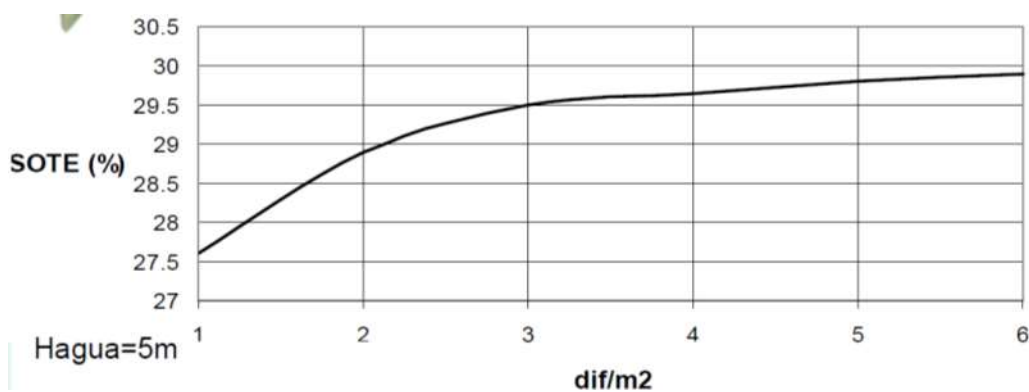


Figura 18: Mejora de SOTE frente al número de difusores/m². Fuente Xylem

2.4.5.7 Casos de referencia

Han implantado esta solución en, por ejemplo, Waco Metropolitan Treatment Facility

2.4.6 Separación método de aireación y agitación

2.4.6.1 Contexto

En ciertas EDAR se ha recurrido a emplear los difusores de burbuja con el fin no sólo de aportar oxígeno al agua sino también con el de agitar el agua en el reactor para mejorar la mezcla y mantener los fangos en suspensión. El coste energético de este sistema es elevado, ya que la agitación con sistemas de aireación tiene una eficiencia muy reducida. Deben por tanto incorporarse agitadores con un funcionamiento independiente de la aireación, optando además por aquellos agitadores más eficientes.

Por otro lado, también debe valorarse la sustitución de sistemas de agitación obsoletos o ineficientes, especialmente ante averías o fin de su vida útil, puesto existen en el mercado agitadores mucho más eficientes, como los tipo banana, que prácticamente cuadruplican la eficiencia de los tradicionales agitadores compactos.

2.4.6.2 Objetivo

Empleo de agitadores diseñados específicamente para la homogeneización en reactores biológicos.

2.4.6.3 Procesos y equipos afectados

La solución descrita es aplicable en los siguientes procesos de la EDAR:

- Tratamiento secundario

Los equipos afectados por esta medida de mejora son los agitadores y el sistema de aireación.

2.4.6.4 Casos de aplicación

Esta medida es especialmente interesante en EDAR con sistemas de difusores utilizados para la homogeneización del agua residual.

También puede valorarse la implantación de agitadores más eficientes cuando se observe un consumo excesivo derivado de los existentes o estos acaben su ciclo de vida.

2.4.6.5 Datos principales necesarios para evaluación de la medida

Los datos que deben tenerse en cuenta para hacer la evaluación de la medida son:

- Ratio de consumo energético kWh/h.e. de la EDAR.
- Ratio habitual en su rango de h.e.

En general, siempre que exista una agitación realizada con el sistema de aireación, va a ser energéticamente ineficiente, por lo que la instalación de agitadores siempre es recomendable.

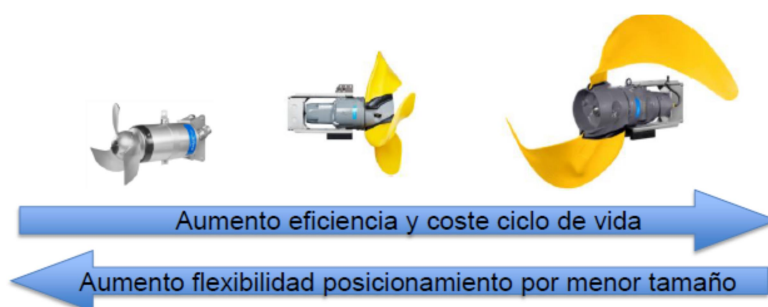
Para seleccionar correctamente el agitador debemos tener presente:

- Las dimensiones de la balsa
- La velocidad a la que se debe mover el fluido, en función del proceso
- Ubicación del agitador

2.4.6.6 Ahorro Energético

Se pueden llegar a alcanzar ahorros de hasta un 15% con la implementación de esta solución.

El ahorro energético va a depender del agitador seleccionado:



	Compactos	Alta Eficiencia	Banana
Empuje 50Hz (N)	80 - 6400	140 - 6150	410 - 4500
Maxima Eficiencia (N/kW) – ISO 21630	150-250	600-1500	600-1330
Diametro pala (m)	0.21 - 0.77	1.4-2.5	1.4 - 2.5

Figura 19: Comparación de la eficiencia de agitadores. Fuente FLYGT

Los agitadores tipo Banana tienen la mejor eficiencia energética, debido al gran tamaño de sus palas, pero requieren mayor espacio para su colocación.

2.4.6.7 Casos de referencia

España

La EDAR de Valladolid gestiona un caudal máximo de 3m³/segundo, correspondiente a una población equivalente de 570.000 habitantes. Dispone de 12 balsas anóxicas de 22,5 x 12,75 x 5 m. En 2.011 se sustituyeron en cada balsa 2 agitadores compactos de 4,5 kW cada uno por 1 agitador Banana de 2,3 kW:

Tabla 8. Resultados sustitución de agitadores

Equipos	Ud	Pot (W)	Consumo (KWh)	Empuje unitario (N)	Eficiencia (N/kWh)
Compacto	2	4,5 x2	2,9x2=5,8	1.282	221
Banana	1	2,3	1,45	1.340	924

El ahorro energético anual es de ((5,8-1,45) kWh x 24h x 365) x 12 balsas= 457.272 kWh. Suponiendo un coste medio de 0,12€/kWh, el ahorro anual de la medida es de 54.872 €.

Otra EDAR que ha optado por incorporar sistemas de agitación más eficiente es la de Estepona, que disponía de 2 agitadores por cámara y que en la nueva línea ha instalado un agitador por cámara, tipo banana.

Portugal

La EDAR de Vila Real es una estación de tratamiento de aguas residuales, que comprende la ciudad de Vila Real, y es responsable del tratamiento de las aguas residuales domésticas de una población equivalente de cerca de 75.000 habitantes y un caudal diario de 8.000 m3.

En las cuencas del tratamiento secundario, para suministro de oxígeno a la comunidad bacteriana, esta EDAR posee cinco sopladores (blowers) de aireado del fondo de los tanques (uno de los cuales de reserva), equipados con motores de inducción trifásicos de 75 kW, eficiencia Alta (equivalente a la actual IE2), con soft- starter o Variador Electrónico de Velocidad (VEV). En esas mismas cuencas pero con la función de mantener la homogeneización del agua residual, posee dieciséis agitadores sumergibles, accionados por otros tantos motores de inducción trifásicos con potencias comprendidas entre 1,5 y 2,8 kW, todos con arranque directo.

2.4.7 Empleo de tecnología de soplantes más eficientes

2.4.7.1 Contexto

Una adecuada aireación y una óptima selección de soplantes son dos de las consideraciones más importantes que se deben tener en cuenta a la hora de reducir el consumo energético en una EDAR. Existen numerosos tipos y configuraciones de soplantes, pero básicamente se pueden dividir en 2 grandes grupos: De desplazamiento positivo (Impulsadas por lóbulos o por tornillos) o centrífugas (impulsadas por rodetes).

La energía consumida por las mismas es función del caudal que impulsan, la presión a la que lo hacen y el rendimiento del equipo. Debido a la creciente importancia que la eficiencia energética está adquiriendo en el diseño de equipos, en los últimos años se han desarrollado nuevas tecnologías como por ejemplo las turbosoplantes con levitación magnética, con rendimientos superiores, que permiten la aireación de depuradoras con costes energéticos más reducidos. Es importante resaltar que no existe una tecnología de aireación que sea la idónea para todas las situaciones, sino que dependerá de las condiciones del consumo, el perfil de caudales, las presiones de trabajo, etc.

2.4.7.2 Objetivo

Sustitución de soplantes existentes por nuevas tecnologías con mejores rendimientos.

2.4.7.3 Procesos y equipos afectados

La solución descrita es aplicable en los siguientes procesos de la EDAR:

- Pretratamiento
- Tratamiento secundario

Los equipos afectados por esta medida de mejora son las soplantes.

2.4.7.4 Casos de aplicación

Esta medida es de aplicación en aquellas EDAR con excesivo consumo en aireación (kWh/h.e.) funcionando con soplantes en las que se detecte un rendimiento optimizable.

2.4.7.5 Datos principales necesarios para evaluación de la medida

Los datos que deben tenerse en cuenta para hacer la evaluación de la medida son:

- Perfil de caudales de aire.

- Presiones de trabajo
- Frecuencias de trabajo
- Horas de funcionamiento anual
- Consumo eléctrico
- Coste de la energía eléctrica

2.4.7.6 Ahorro Energético

Se pueden llegar a alcanzar ahorros de hasta un 23% con la implementación de esta solución.

De las tecnologías habitualmente utilizadas, la que presenta a priori menos eficiencia es las de los sopladores de lóbulos rotativos, en los que el aire es comprimido por la contrapresión del sistema (compresión externa). En el caso de los sopladores de tornillo, la compresión es interna, conseguida por el paso del aire a lo largo de los tornillos, y su eficiencia mejora. Los sopladores centrífugos presentan en general mejor rendimiento que los de desplazamiento positivo, especialmente en el caso de las soplantes de alta velocidad de levitación, magnética o por aire:

Tabla 9. Eficiencia de las diferentes tecnologías soplantes

Tecnologías	Eficiencia Sistema (%)
Sopladores lobulares	43-50
Sopladores de tornillo	53-65
Soplantes centrífugas multietapa/velocidad fija	60-68
Soplantes centrífugas levitación (magnéticas/aire)	66-73

Si comparamos los ratios de los sistemas menos y más eficientes, podemos ver que se pueden alcanzar ahorros de entre un 16 y un 30%, siempre dependiendo de los equipos analizados y de las condiciones de trabajo de los mismos.

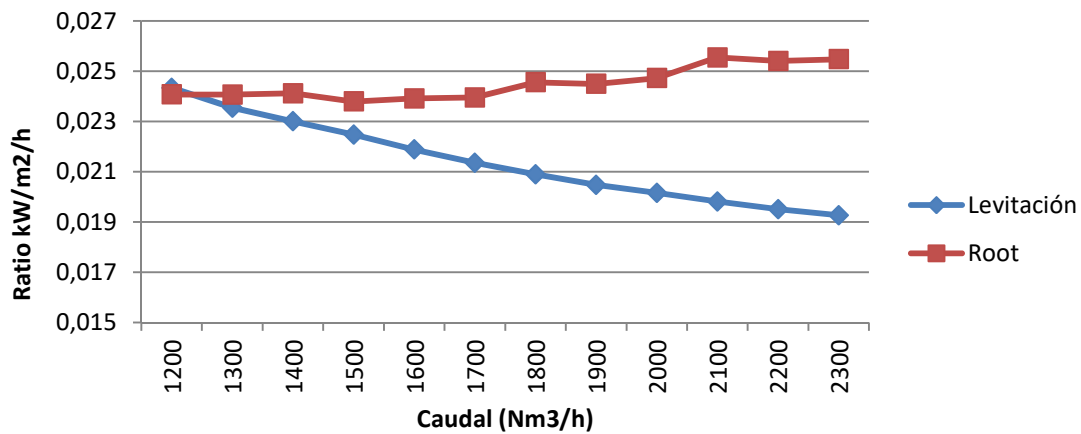


Figura 20: Rendimientos ROOT vs levitación, Datos procedentes de equipos comerciales

Además de un menor consumo, los nuevos sistemas por levitación reducen las partes mecánicas, lo que se traduce en un mantenimiento más económico, menores dimensiones y niveles de ruido inferiores.

Para poder valorar el ahorro que se espera conseguir debería establecerse el gasto energético que tiene en estos momentos aportar el caudal de aire necesario para suministrar el oxígeno requerido (kWh/Nm³ aire). Si partimos de un soplador lobular con un eficiencia del 47%, la sustitución a un sistema por levitación magnética debería suponer un ahorro de entre el 19 y el 26%.

2.4.7.7 Casos de referencia

En la EDAR de Caravaca de la Cruz se sustituyó una soplante trilobular de 250kW por una de levitación magnética de 200 kW (Simón, P. *et al* (2012). Optimización energética en EDAR de la Región de Murcia. *Ingeniería Civil* n°168/2012; pp 93-112).

Para la sustitución, se seleccionó un equipo que produjera un caudal de aire igual o superior al de la soplante existente, pasando de un intervalo para la trilobular de 4.138 – 7.369 Nm³ /h a 3.520 – 8.185 Nm³/h para la de levitación, según especificaciones de los fabricantes.

Se realizaron mediciones reales sobre ambos equipos, a intervalos del 5% de incremento en el porcentaje de trabajo, desde el mínimo de ambas máquinas hasta el máximo. En cada porcentaje de trabajo, se midieron consumos de los equipos, apreciándose que el equipo de levitación consume menos energía para dar el mismo caudal de aire.

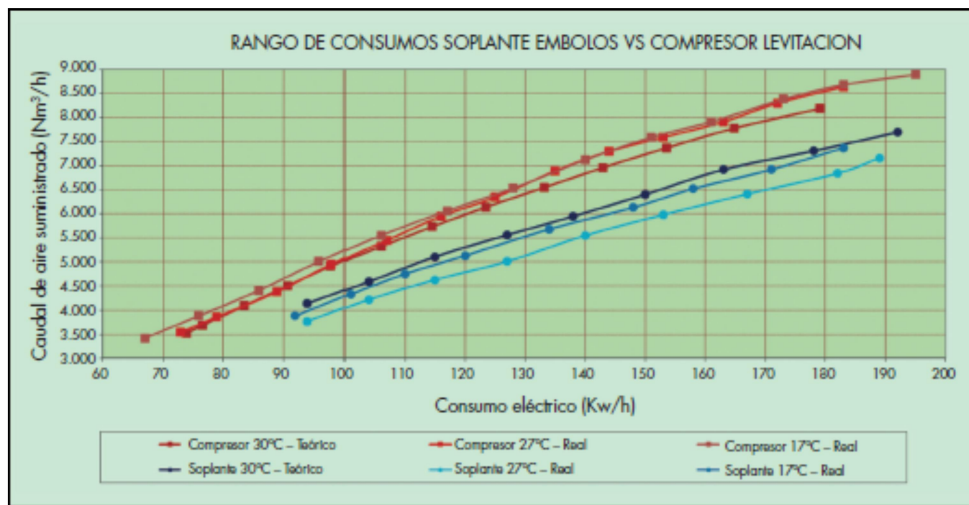


Figura 21: EDAR Caravaca de la Cruz. Consumos eléctricos a distintos caudales para soplante de émbolos y compresor de levitación

En la gráfica se observa como, en cualquier rango de trabajo, el consumo eléctrico del compresor es inferior, con una reducción del consumo entre el 17% y el 23%.

En la EDAR Orihuela, con un caudal diario de 6.829 m³/día y 47.630 h.e., se sustituyó una soplante trilobular por una de levitación magnética:

Tabla 10. Comparativa equipos EDAR Orihuela

Tecnologías	Caudal (Nm ³ /h)	Consumo (KW)	Ratio kW/m ³ /h
Soplante Root SEM40	2.108,27	53,4	0,02449
Levitación HST 2500	2.200	42,9	0,01950

A requisitos de caudal muy similar, la soplante de levitación supone un ahorro medio del 20% respecto a la situación anterior.

Otras EDAR que han implantado esta solución son, por ejemplo, la EDAR Cabezo Beaza, con un ahorro conseguido del 3,92% y las de: EDAR Archena, EDAR Castellón, EDAR Alzire, EDAR L'Horta Nord y EDAR Skanderborg.

2.4.8 Redimensionamiento de soplantes

2.4.8.1 Contexto

Tal y como ocurre en el caso de las bombas, también es habitual encontrarse soplantes sobredimensionados para el caudal y presión necesarias. Durante la fase de diseño se tiende a sobredimensionar, con objeto de proporcionar versatilidad para futuras sobrecargas, y para reducir riesgos en el cálculo y en la selección o para proporcionar mayor robustez del sistema. A veces, para ajustar el flujo se recurre al uso de dispositivos de estrangulamiento, de bypass o de paradas continuadas, métodos muy poco eficientes desde el punto de vista energético. En ocasiones el empleo de variadores de frecuencia puede ayudar a ajustar el caudal a las condiciones deseadas, pero no siempre se puede alcanzar un punto óptimo de funcionamiento.

2.4.8.2 Objetivo

Empleo de soplantes correctamente dimensionadas para la demanda de aire real de la EDAR.

2.4.8.3 Procesos y equipo afectados

La solución descrita es aplicable en los siguientes procesos de la EDAR:

- Tratamiento secundario

Los equipos afectados por esta medida de mejora son los soplantes.

2.4.8.4 Casos de aplicación

EDAR con sobreconsumo energético debido a sobredimensionamiento de soplantes.

2.4.8.5 Datos principales necesarios para evaluación de la medida

Los datos que deben tenerse en cuenta para hacer la evaluación de la medida son:

- Caudal demandado.
- Caudal disponible
- Presión necesaria

2.4.8.6 Ahorro Energético

Se pueden llegar a alcanzar ahorros de hasta un 50% con la implementación de esta solución.

Como sucede en el caso de motores y bombas sobredimensionadas, hay que tener en cuenta que el ahorro va a depender fundamentalmente de la situación de partida y de lo ajustada que sea la potencia de las nueva soplante. Si la potencia seleccionada para el cambio es correcta, las nuevas soplantes no deberían necesitar más horas para suministrar el aire necesario, por lo que el ahorro debería ser proporcional a la diferencia de potencias entre los equipos. Otra posibilidad es aprovechar el cambio de soplantes para, además de ajustar su potencia, seleccionar tecnologías más eficientes energéticamente.

2.4.8.7 Casos de referencia

Como parte del proyecto de optimización energética de EDAR en Murcia (Simón, P. *et al*) se sustituyeron en las EDAR de Yecla y de Las Torres de Cotillas los antiguos equipos de aireación, sobredimensionados para las necesidades reales de trabajo de ambas. En Yecla se sustituyó una soplante de 250 kW por otra de 110 kW y se redujo posteriormente aún más, a 90 kW. En Las Torres de Cotillas se sustituyó una soplante de 250 kW por otra de 110 kW, obteniendo interesantes ahorros energéticos:

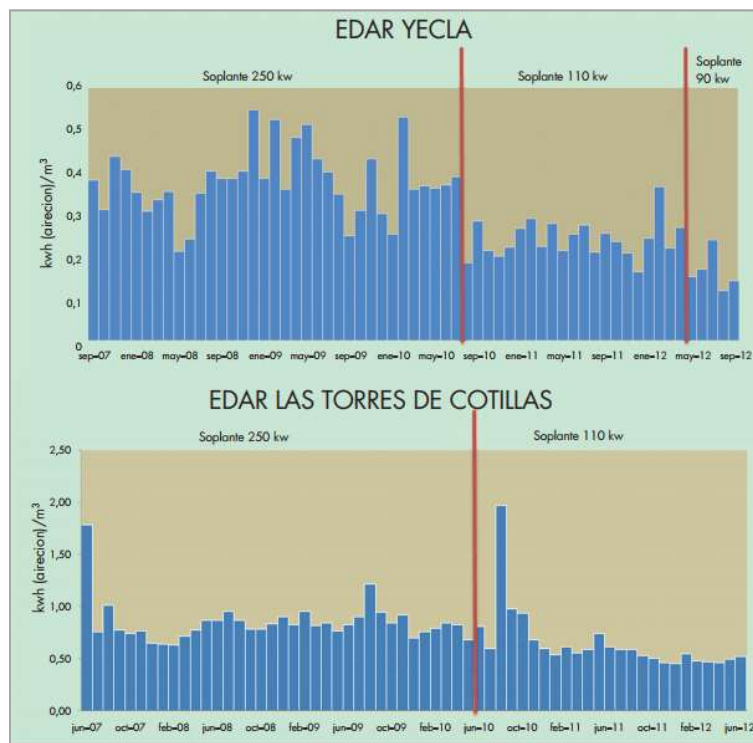


Figura 22: Consumos energéticos tras la sustitución de equipos de aireación. Fuente (Simón, P. *et al* (2012). Optimización energética en EDAR de la Región de Murcia. *Ingeniería Civil* nº168/2012; pp 93-112).

Una de las conclusiones más interesantes del estudio es que, en contra de lo que cabría esperar, las horas de funcionamiento de las soplantes no se incrementaron con el cabo, pese a la reducción de potencia. La causa aparte de menores pérdidas de carga estaría relacionada con un mejor aprovechamiento del aire por las bacterias, al recibir este de manera más homogénea que en el caso de suministrarlo por picos de caudal como ocurre con los equipos de mayor potencia.

Otras EDAR que han implantado esta solución son, por ejemplo, la EDAR Waukesha.

2.4.9 Sistemas de control para el sistema de aireación

2.4.9.1 Contexto

La concentración de oxígeno disuelto en los procesos de fangos activados está considerada como uno de los parámetros de control más importantes en una EDAR. Una concentración de oxígeno disuelto baja afecta al crecimiento de los microorganismos, mientras que una concentración de oxígeno alta supone un gasto energético importante, al ir asociado a un trabajo excesivo de las soplantes, y afecta negativamente al proceso.

El propósito de los sistemas de control para el ajuste de las condiciones óptimas en el tratamiento secundario tiene como objeto proporcionar el flujo de aire correcto en cualquier momento. Esto tiene un impacto significativo en el consumo energético, pues actúan directamente sobre los sistemas de aireación. El sistema de control más extendido se basa en la medición del oxígeno disuelto, y es también común ver sistemas en los que también se mide el potencial redox.

La aparición de nuevas sondas para la medida de nuevos parámetros a un coste asumible, y el desarrollo de nuevas estrategias de control posibilita la implementación de nuevos sistemas que reducen el consumo energético del proceso.

2.4.9.2 Objetivo

Implementación de nuevos y más eficientes sistemas de control para el tratamiento secundario que regulan con más eficiencia el aporte de aire al reactor.

2.4.9.3 Procesos y equipos afectados

La solución descrita es aplicable en los siguientes procesos de la EDAR:

- Tratamiento secundario

Los equipos afectados por esta medida de mejora son los sistemas de aireación: soplantes, rotores, turbinas, etc.

2.4.9.4 Casos de aplicación

Estos sistemas de control son muy recomendables en EDAR con sistemas de control obsoletos.

2.4.9.5 Datos principales necesarios para evaluación de la medida

Los datos que deben tenerse en cuenta para hacer la evaluación de la medida son:

- Ratio de consumo energético kWh/h.e. del proceso de tratamiento secundario.
- Ratio habitual en su rango de h.e.

2.4.9.6 Ahorro Energético

Se pueden llegar a alcanzar ahorros de hasta un 35% con la implementación de esta solución.

Los sistemas de control diseñados evitan que las soplantes funcionen innecesariamente, poniéndolas en funcionamiento únicamente cuando los sensores determinen que las condiciones del licor requieren la entrada de aire. Así, se pasa de un funcionamiento continuo a uno en ciclos alternados, disminuyendo los períodos de funcionamiento y el consiguiente consumo energético.

2.4.9.7 Casos de referencia

España

La EDAR de la Albuera fue seleccionada para un proyecto piloto de estudio de la mejora energética a través del control de los procesos de aireación prolongada (Martín de la Vega, P.T. *et al*, Control inteligente de una EDAR para la mejora del rendimiento de la eliminación de Nitrógeno y el consumo eléctrico, (2.012) *RETEMA n°162 pp44-51*). Esta EDAR fue diseñada para 4.000 h.e., con un caudal medio de 1.000m³/día. La EDAR dispone de 2 turbocompresores, con una potencia total de aireación de 42 kW, y niveles de potencia intermedios de 18,5, 22, 40,5 y 42 kW. El control se diseñó en el Grupo de Investigación de Aplicaciones Industriales de la Inteligencia Artificial, de la Universidad de Extremadura.

De una forma muy simplificada, podemos decir que se produce una aireación en ciclos alternados, porque cada cierto tiempo el control mide el DO y lo compara con una referencia preestablecida, en este caso 2 mg/l. Mientras no se supera la aireación continúa.

Cuando se supera, las soplantes se apagan, y no volverán a encenderse hasta que el DO caiga por debajo de 0,1 mg/l. en paralelo, se realizan también comprobaciones de carga orgánica, nitrógeno e incluso consumo energético, que modulan el funcionamiento final de las soplantes. Con el control original, que mantenía la aireación funcionando 14-16 horas/día, la planta presentaba un ratio energético de 0,065 kWh/(días x h.e.). Con el nuevo sistema, el consumo bajó a 0,028 kWh/(días x h.e.), lo que supone un ahorro del 57%.

También se han implantado sistemas similares en la EDAR Martorell, con un ahorro de 6,27%, y en la de EDAR Cabezo Beaza, con un 4,15%.

Otras EDAR que han implantado esta solución son, por ejemplo:

- EDAR Chantada
- EDAR Orihuela
- EDAR Algemesí.
- EDAR Ontinyent.
- EDAR Denia - Ondara.
- EDAR Gandía.
- EDAR Barranco del Carraixet.
- EDAR Almazora.
- EDAR Castellón.

Portugal

En la EDAR de Vila Real, después de la instalación de sistemas de monitorización de consumos de energía eléctrica en sus instalaciones, permitió al operador identificar sectores de mayor consumo e intervenir directamente en ellos, especialmente en el ajustamiento del set- point de Lodos. A través de esta monitorización y ajustamiento la EDAR consiguió ahorros energéticos de aproximadamente un 5%.

2.5 SISTEMA DE DESINFECCIÓN ULTRAVIOLETA

2.5.1 Regulación del sistema de desinfección ultravioleta

2.5.1.1 Contexto

La energía consumida por la desinfección ultravioleta (UV) es aproximadamente entre un 10 y un 25% de la energía total utilizada en una estación depuradora de agua residual municipal, siendo una cantidad a tener en cuenta dentro de los gastos de una EDAR, es necesario el control del sistema de desinfección UV.

La automatización puede reducir el número de lámparas y el tiempo de uso de las mismas basándose en datos de flujo y calidad del agua residual en tiempo real. Los sistemas de controles más comunes son basados en la medición del caudal o la transmitancia.

2.5.1.2 Objetivo

Regular la utilización de lámparas ultravioleta mediante monitorización del flujo o de la dosis.

2.5.1.3 Procesos y equipos afectados

La solución descrita es aplicable en los siguientes procesos de la EDAR:

- Tratamiento terciario.

2.5.1.4 Casos de aplicación

Estaciones depuradoras con altos costes energéticos en la desinfección UV, con capacidad para monitorizar el tratamiento terciario.

2.5.1.5 Datos principales necesarios para evaluación de la medida

Los datos que deben tenerse en cuenta para hacer la evaluación de la medida son:

- Caudal
- Potencia de la lámpara
- Transmitancia del ultravioleta

2.5.1.6 Ahorro Energético

Se pueden llegar a alcanzar ahorros de hasta un 25% con la implementación de esta solución.

2.5.1.7 Casos de referencia

La EDAR Fuente Álamo sustituyó sus antiguas lámparas UV por equipos que incorporan lámparas de amalgama de gran intensidad con capacidad de regulación para adaptarse a variaciones de caudal y calidad del agua. Además, el rediseño de las instalaciones ha permitido reducir notablemente el número de lámparas y la potencia total instalada, con el consiguiente ahorro energético.

Otras EDAR que han implantado esta solución son, por ejemplo, la EDAR O Grove.

2.5.2 Utilización de lámparas UV de baja presión

2.5.2.1 Contexto

Debido a las preocupaciones relacionadas con la seguridad, manejo y toxicidad del efluente asociados al cloro, la desinfección ultravioleta (UV) se ha vuelto popular durante los últimos años como una alternativa a la desinfección química.

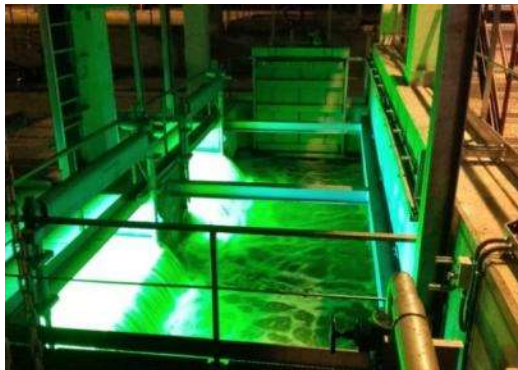


Figura 23: Sistema UV baja presión. EDAR Viveros de la Villa

La radiación ultravioleta puede penetrar en el interior de las células de los microorganismos y dañarlas, limitando su reproducción. Entre sus ventajas destacan:

- No altera las características organoléptica del agua tratada.
- El tiempo de contacto necesario para la desinfección es muy breve.
- Proceso físico y no químico, no deja ningún residuo tóxico en el agua tratada lo que no ocurre con el cloro y los demás desinfectantes químicos.
- Muy buena acción virucida y bactericida.
- No tiene ningún tipo de peligro para el hombre, la flora y la fauna.

Existen 2 tipos de lámparas UV: de media presión y de baja presión. Las lámparas de media presión tienen potencias de varios KW y emiten luz UV de distintas longitudes de onda, entre 185 y 400 nanómetros; su rendimiento, entendido como porcentaje de conversión de la potencia aplicada en emisión UV-C a 254 nanómetros, está comprendido entre el 7% y 12%. En el caso de las de baja presión, producen en una sola longitud de onda (254 nm), la potencia va de 60 W a 600 W y cuentan con un rendimiento entre el 26% y 34%.

Las lámparas de media presión requieren de 2 a 4 veces más energía para funcionar que las de baja presión. Dentro de las lámparas de baja presión, hay un grupo llamado de alto rendimiento, que trabaja con una amalgama de mercurio en lugar de con mercurio en forma de gas y aún a las ventajas de los dos tipos (alto poder desinfectante y bajos requerimientos de energía).

2.5.2.2 Objetivo

Intercambio de lámparas de desinfección UV de media presión por lámparas de baja presión con alto rendimiento.

2.5.2.3 Procesos y equipos afectados

La solución descrita es aplicable en los siguientes procesos de la EDAR:

- Tratamiento terciario

2.5.2.4 Casos de aplicación

Estaciones depuradoras con altos costes energéticos en la desinfección UV.

2.5.2.5 Datos principales necesarios para evaluación de la medida

Los datos que deben tenerse en cuenta para hacer la evaluación de la medida son:

- o Potencia de las lámparas
- o Número de lámparas
- o Concentración de patógenos
- o Eliminación bacteriana requerida

2.5.2.6 Ahorro Energético

Se pueden llegar a alcanzar ahorros de hasta un 65% con la implementación de esta solución.

Hay que tener en cuenta que el rendimiento de las lámparas de baja presión puede llegar a triplicar los de una de alta presión. Por ejemplo, para alcanzar una emisión media UV-C de 68 W a 254 nm, después de 100 horas de funcionamiento, necesitaríamos una lámpara de 200W de baja potencia (rendimiento 34%), pero una de más de 570W en el caso de las de alta potencia (rendimiento 12%). En mil horas de funcionamiento sólo de esa lámpara se hubiesen ahorrado unos 370 kWh.

2.5.2.7 Casos de referencia

La EDAR de Viveros de la Villa, en Madrid, dispone de 24 módulos Ultravioleta, formados por 864 lámparas Ultravioleta de Baja Presión de 400 W cada una. Los sistemas Ultravioleta verticales disponen de un novedoso sistema de optimización de energía basado en la desconexión de filas de lámparas que no son necesarias usar, en función de la calidad del agua, y las que quedan encendidas pueden modificar su potencia desde el 50% al 100%. Este control de energía se realiza mediante un sistema de gestión central que conjuga las señales de transmitancia del agua y del caudal para optimizar en todo momento los consumos energéticos. Todas las lámparas ultravioleta cuentan con un sistema de limpieza automático que las permite operar siempre en las mejores condiciones.

Otras EDAR que han implantado esta solución es, por ejemplo, la EDAR de Stockton.

2.6 SISTEMA DE DESODORIZACIÓN

2.6.1 Automatización del sistema de desodorización

2.6.1.1 Contexto

En la actualidad algunas grandes plantas de depuración cuentan con sistemas automatizados de desodorización para la eliminación de los olores y compuestos orgánicos volátiles.

En algunas de estas plantas esta automatización no está del todo aprovechada pues una mejora considerable podría ser mediante la instalación de sensores de partículas malolientes que permiten modular el tratamiento, activándose si la contaminación alcanza el valor máximo consigna establecido y graduándose cuando disminuye su presencia.

Igualmente, si dicha instalación se encontrara sectorizada en el programa de automatizado se podría asignar consignas diferentes para cada proceso según sus niveles, consiguiendo así un ahorro energético importante. Gracias a ello se puede proceder al tratamiento de altas cargas de contaminantes con costes de operación bajos y con un retorno de la inversión a corto plazo.

2.6.1.2 Objetivo

Control de la renovación de aire mediante sensores de amonio y ácido sulfhídrico.

2.6.1.3 Procesos y equipos afectados

La solución descrita es aplicable en los siguientes procesos de la EDAR:

- Diversos procesos afectados, en los que se produce mayor carga de olor: pretratamiento, espesadores, deshidratadores de fango, etc.

El equipo afectado por esta medida de mejora es el sistema de desodorización.

2.6.1.4 Casos de aplicación

Esta mejora sería de aplicación en EDAR con sistema de desodorización no automatizado.

2.6.1.5 Datos principales necesarios para evaluación de la medida

Los datos que deben tenerse en cuenta para hacer la evaluación de la medida son:

- o Olor

- Potencia de los equipos
- Horas de funcionamiento
- Sectorización

2.6.1.6 Ahorro Energético

Se pueden llegar a alcanzar ahorros de hasta un 75% con la implementación de esta solución, puesto que evita funcionamientos innecesarios de los sistemas de desodorización. El ahorro conseguido dependerá del régimen de funcionamiento anterior y del grado de ajuste conseguido con la solución ejecutada.

2.6.1.7 Casos de referencia

La estación depuradora de aguas residuales de Fuenmayor-Río Antiguo da servicio a 18.667 h.e., con un caudal medio diario de 3.500m³. La planta aplica la alternativa de fangos activados en aireación prolongada, y está dimensionada para nitrificar y desnitrificar, pudiendo sobrepasar un 80% de eliminación de nitrógeno.

La EDAR dispone de una instalación de desodorización que trata el aire del edificio de pretratamiento y el de la sala de deshidratación para evitar posibles emisiones de malos olores al exterior. La instalación está automatizada, contando con un sistema informático de supervisión y control de todos los equipos.

Otras EDAR que han implantado esta solución son, por ejemplo:

- EDAR La Cartuja
- EDAR Torremocha de Jarama

2.7 TECNOLOGÍAS RENOVABLES Y APROVECHAMIENTO DE ENERGÍAS RESIDUALES DE PROCESO

2.7.1 Cogeneración

2.7.1.1 Contexto

La operación en las EDAR genera unos lodos que, en muchos casos, se desechan. Transformando estos lodos bioquímicamente (digestión anaerobia), obtenemos una mezcla de metano (50-80%) y dióxido de carbono (20-50%) con trazas de otros gases. Este gas puede ser aprovechado energéticamente de diversas formas: Cogeneración, producción de calor, inyección a la red de gas, utilización del gas en motores, alimentación de vehículo de gas, etc.

La cogeneración es un proceso mediante el cual se obtiene energía eléctrica y térmica a partir de una combustión. En un sistema tradicional de producción de electricidad a partir de combustibles fósiles, la mayoría de la energía contenida en el combustible se transforma en calor que no se utiliza, lo que resulta en una pérdida de hasta de 2/3 de la energía aprovechable. Sin embargo, la cogeneración permite aprovechar esa energía térmica, optimizando el proceso de generación:

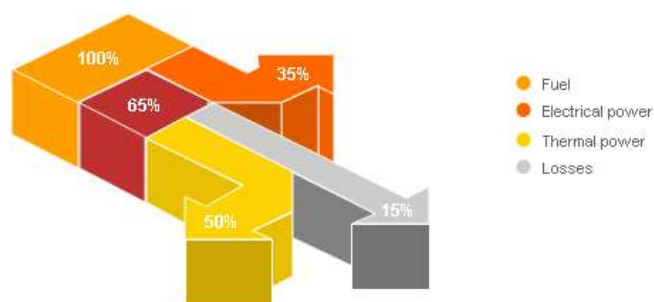


Figura 24: Rendimientos Cogeneración. Fuente GALP

El flujo de biogás del digestor puede utilizarse como combustible para una central de cogeneración, aprovechando los propios recursos de la planta.

Existen numerosas tecnologías de cogeneración, como motores alternativos, turbinas o células de combustible. Dado que la digestión anaerobia trabaja mejor en un rango de temperaturas de 50-60°C, la energía térmica producida por el sistema es típicamente utilizada para satisfacer la demanda calorífica del propio digestor, así como para cubrir la demanda de calefacción de la planta.

La implantación de una central de cogeneración en una EDAR tiene numerosas ventajas entre las que destacan:

- Producir energía eléctrica a bajo coste
- Reducción del uso de combustibles fósiles para cubrir la demanda térmica
- Reduce pérdidas de transporte en la red eléctrica ya que la energía se produce y se transforma en el mismo emplazamiento.

2.7.1.2 Objetivo

Implantación de un proceso de digestión anaerobia y planta de cogeneración con objeto de aprovechar la energía eléctrica y térmica obtenida a partir de la combustión de biogás.

2.7.1.3 Procesos y equipos afectados

La solución descrita es aplicable en los siguientes procesos de la EDAR:

- Línea de Lodos

Los equipos afectados por esta medida de mejora son el digestor y la instalación de cogeneración.

2.7.1.4 Casos de aplicación

Este proceso requiere de una inversión importante en equipos, y no es adecuada para todo tipo de estaciones depuradoras. Se recomienda realizar un estudio, obviamente por economía de escala, el mayor tamaño de la EDAR facilita la implantación de un sistema de cogeneración con biogás.

Los costes de inversión pueden ir desde los 1.500€/kW hasta los 3.500€/kW, y los costes de producción de electricidad desde los 0,085 €/kWh hasta los 0,005 €/kWh, dependiendo del tamaño de la planta, tecnología implantada, características del agua y de la planta.

2.7.1.5 Datos principales necesarios para evaluación de medida

Los datos que deben tenerse en cuenta para hacer la evaluación de la medida son:

- Composición de fangos
- Cantidad de fangos
- Energía consumida
- Temperatura exterior

- Espacio disponible
- Habitantes equivalentes tratados
- Estacionalidad de la planta
- Capacidad de producción media y punta
- Capacidad de almacenamiento
- Capacidad de combustión
- Energía requerida en planta
- Precio de venta de energía

2.7.1.6 Ahorro energético

El ahorro de esta solución va a depender de la eficiencia del proceso de secado y del sistema de cogeneración, y del uso que se le dé a la energía obtenida. Un sistema de cogeneración eficiente es aquel que aprovecha al 100% el calor y la electricidad obtenidos. En el caso de la electricidad, la producción obtenida puede consumirse en las instalaciones de la EDAR y, en el caso de que haya excedentes, volcarse a la red general de suministro. El calor es más complicado, puesto que en la mayoría de los casos debe consumirse en su totalidad en la propia EDAR, sin que exista una gestión sencilla de excedentes. El calor puede aprovecharse para secado de lodos, climatización de instalaciones, etc.

En cualquier caso, el consumo energético se va a seguir produciendo, con la diferencia de que ahora procederá de un sistema más eficiente y que resultará más económico, además de ser más respetuoso con el medio ambiente.

2.7.1.7 Casos de referencia

España

La EDAR de Atalreka tiene instalada una central de cogeneración. Los fangos extraídos al agua sufren un tratamiento en la propia planta, convirtiéndolo en materia seca para su uso como materia prima biocombustible y extrayendo de él biogás, que en la propia planta se emplea como carburante para generar energía eléctrica renovable

En el caso de esta instalación, el secado de los fangos se realiza mediante vapor de agua, lo que requiere el aporte de energía térmica. Para producir esta energía, la planta dispone de tres motogeneradores que generan energía eléctrica a partir de gas natural, aprovechando el calor generado en este proceso para el

secado de los fangos. La energía eléctrica obtenida en estos 3 equipos se consume en la propia planta y en la estación de bombeo de Hondartza, vendiendo el excedente a la compañía distribuidora de electricidad mediante la conexión a la red general.

Además, en esta instalación se integran dos biogeneradores que a partir del biogás que se obtiene de la digestión de los fangos, generan energía eléctrica y contribuyen también al secado de los fangos y, por lo tanto, a la mayor eficiencia de esta sala de cogeneración. Los cinco motores juntos producen más de 6,3 millones de kwh/año.

Otra instalación de cogeneración que utiliza el biogás producido en la propia planta es la EDAR Murcia-Este:

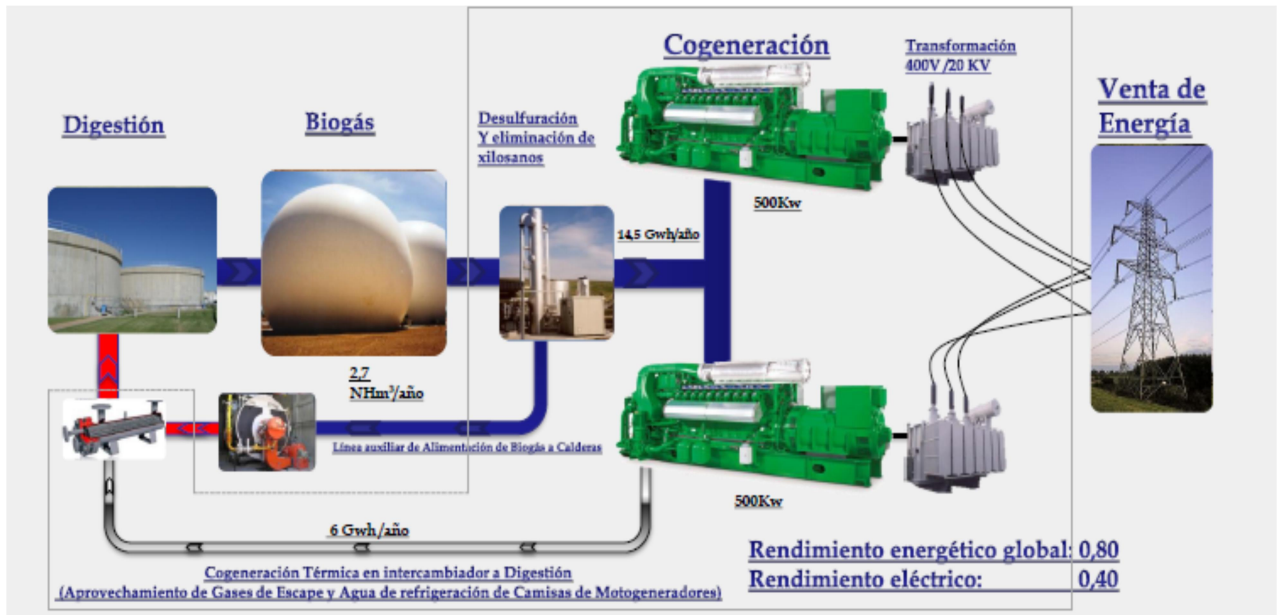


Figura 25: Esquema funcionamiento cogeneración EDAR Murcia-Este. Fuente ESAMUR

La cogeneración por biogás es una solución que se está implantando de forma generalizada en las EDAR de mayor tamaño, debido a sus buenos resultados. Otras EDAR que han implantado esta solución son, por ejemplo:

- EDAR Novelda
- EDAR Pinedo

- EDAR Paterna
- EDAR Alzira-Carcaixent
- EDAR Sitges
- EDAR Monforte del Cid
- EDAR Pobla de Farnals
- EDAR Utiel

Portugal

La EDAR de Vila Real posee una central de cogeneración que está formada por dos módulos de generadores eléctricos PREMI 22A, cada uno de los cuales está accionado por un motor de combustión interna de biogás. El biogás es generado a través de la digestión anaerobia de las lamas producidas en el tratamiento de las aguas residuales de la instalación mediante dos digestores de 600 m³ de capacidad cada uno.



Figura 26: Uno de los módulos de cogeneración

Las principales características técnicas de tales grupos generadores son las siguientes:

Tabla 11. Características del sistema de cogeneración implementado en la EDAR de Vila Real

Motor	
Modelo	LG4 183 2 AA
Cilindrada	1300 cm ³
Potência	77,5 kW
Gerador	
Modelo	LG4 183 2 AA
Tensión	230/400 V
Potencia eléctrica	22 kW
Potencia térmica	42 kW

La energía eléctrica producida en estos módulos de cogeneración es íntegramente consumida por la EDAR de Vila Real, a través de una conexión eléctrica trifásica de baja tensión dotada con su respetivo equipamiento de medida. La energía eléctrica producida por este equipamiento representa aproximadamente un 11% de la energía eléctrica consumida por la EDAR (75 MWh/año). Para el aprovechamiento de la energía térmica disipada por los motores de accionamiento, la central de minicogeneración posee los intercambiadores de calor necesarios para el calentamiento de agua.

El biogás, además de alimentar a la central de cogeneración, también es utilizado en el propio digestor anaeróbico para garantizar su correcto funcionamiento en términos de presiones y de homogeneización, así como, también es alimentado a una caldera de apoyo, la cual se utiliza para mantener la temperatura de los digestores.

Otra instalación de cogeneración que utiliza el biogás producido en la propia EDAR es la del Freixo.

2.7.2 Codigestión

2.7.2.1 Contexto

En algunos casos, bien por sobredimensionamiento o cuando las condiciones lo permitan, se puede disponer de una capacidad excesiva de digester. En esta situación, se puede utilizar el digester anaerobio para transformar otros residuos, como los procedentes de explotaciones agrarias, en conjunto con los lodos.

La codigestión, como se denomina este proceso, tiene ciertas ventajas que la hacen una opción muy interesante para valorar:

- Aprovecha la complementariedad de los residuos
- Provoca procesos más estables
- Reduce la dependencia de los sustratos
- Aumenta la producción de biogás
- Mejora la gestión de sostenible de residuos orgánicos, aunque sus posibilidades dependen mucho del entorno.

2.7.2.2 Objetivo

Aprovechamiento de la capacidad del digester, para aumentar su producción con la utilización de otros sustratos, para reducir los costes de la producción de biogás por economía de escala.

2.7.2.3 Procesos y equipos afectados

La solución descrita es aplicable en los siguientes procesos de la EDAR:

- Línea de Lodos

Los equipos afectados por esta medida de mejora son el digester de fangos.

2.7.2.4 Casos de aplicación

La codigestión se recomienda en los casos de disponer de un digester con una capacidad mayor de la requerida para tratar los fangos, y cuando se esté en disponibilidad de conseguir recursos de diferentes explotaciones agrarias, compatibles con el proceso de digestión.

2.7.2.5 Datos principales necesarios para evaluación de la medida

Los datos que deben tenerse en cuenta para hacer la evaluación de la medida son:

- Kg de materia adicional
- Coste materia adicional
- Producción de biogás
- Rendimiento del digestor
- Coste de operación

2.7.2.6 Ahorro Energético

Las ventajas de la codigestión no residen en el ahorro energético, sino en la optimización de las instalaciones depuradoras, la valorización de residuos y una mayor producción de biogás.

2.7.2.7 Casos de referencia

España

En las EDAR de Pobra de Farnals y Molina de Segura se realizó una experiencia conjunta de codigestión, aprovechando el volumen de digestor existente para incorporar otros sustratos que compensaran el balance de nutrientes y la humedad, mejorando el rendimiento del proceso y la producción de biogás. (J.J.Morenilla *et al*, Experiencias en EDAR de la codigestión de sustratos sobre la producción de biogás).

Tabla 12. Experiencias Codigestión. Características de las EDAR Pobra de Farnals y Molina de Segura

	Pobra de Farnals	Molina de Segura
Caudal de diseño (m ³ /d)	30.000	25.000
Nº digestores	1	1
Volumen digestor (m ³)	5.400	7.612

Analizando los resultados obtenidos se observa que la producción de biogás se incrementó en ambas EDAR, aunque el efecto depende también de aspectos como el tiempo de retención en el digestor y la composición de los lixiviados descargados, entre otros:



Figura 27: Resultados de producción de biogás

Otro caso de éxito es el de la EDAR de Sant Feliu (Aguiló, P. *et al.*, Codigestión en EDARs urbanas. Experiencias y suficiencia energética del proceso de tratamiento de lodos (2012) *Ingeniería Civil* n°168/2012, pp.113-119). Se trata de una planta de tratamiento biológico con eliminación de nutrientes que trata 17.000.000 m³/año e incluye un de tratamiento terciario de regeneración para el aprovechamiento final de parte de su efluente en agricultura o riego. El fango producido por la EDAR se bombea a una digestión anaeróbica compuesta por dos digestores de 6.000 m³ de capacidad cada uno. La codigestión se planteó en este caso como una forma de potenciar la producción de biogás, de manera que se pudiese mantener funcionando permanentemente el motor de cogeneración. La electricidad producida por este motor se vende a la red general.

Se seleccionaron productos en formato líquido, compatibles con el proceso de codigestión anaerobia, que se incorporaron de forma escalonada y progresiva. Los resultados muestran como la producción de biogás ha aumentado en más de un 125%, y la generación de energía en un 180%, siendo esta de 13.160 kWh/día-1, casi el 100% de la energía consumida por la EDAR, unos 14.350 kWh:

Tabla 13. Experiencias Codigestión. Resultados EDAR Sant Feliu

Caudal de diseño (m ³ /d)	Tratamiento Lodos	Producción biogás (Nm ³ /día)	Generación electricidad (kWh/día)
64.000	Digestión anaerobia	2.950	4.700
	Codigestión anaerobia	6.725	13.600

Otras EDAR que han implantado esta solución son, por ejemplo:

- EDAR Quart-Benàger
- EDAR Alzira-Carcaixent
- EDAR Novelda

Portugal

En el ámbito de un proyecto realizado entre Aguas do Oporto e INEGI, fue efectuado un estudio relacionado con la viabilidad técnica y económica de la transformación de parte del biogás producido en la EDAR del Freixo (350 400 m³/año) procedente de la digestión anaeróbica de las lamas producidas en esta EDAR en biometano y su posterior inyección en la red de gas natural (GN), asegurando que se cumplan los requisitos técnicos de calidad y seguridad.

Se consideró su utilización en aplicaciones térmicas, tanto en el sector industrial, el doméstico y de los servicios, abriendo incluso la posibilidad de su utilización en los vehículos de GN en sustitución de los dedicados. En ese estudio se consideró estipulada una tarifa de venta a la red comercializadora de esta utilidad, de forma similar a la electricidad.

Tal y como se mencionaba anteriormente, con el fin de cumplir los requisitos en términos de composición y energéticos, el biogás producido debería pasar un proceso de tratamiento antes de ser inyectado a la red. Así, y recurriendo a un software freeware "Biomethane Calculator" desarrollado en el ámbito del proyecto europeo "Biomethane Regions", cofinanciado por el programa Intelligent Energy Europe fue efectuado un estudio comparativo que contempló cuatro tecnologías de tratamiento: membranas de permeabilización gaseosa, depuración por líquidos o por aminas y adsorción por modelación de presión.

Más allá de un análisis cuantitativo de las corrientes gaseosas después de tratamiento y del volumen de gas producido, el software permitió, también, evaluar los costes incurridos con cada tecnología en términos de inversión y gastos de operación y mantenimiento.

Tabla 14. Estudio económico para diferentes tecnologías de biometanización

		Membrana de permeabilización gasosa de recuperación média	Water Scrubbing	Amine Scrubbing	PSA
Inversión [€]		584 817,00	796 177,00	943 095,00	1 100 313,00
Costes de tratamiento	Depreciación [€/año]	38 987,80	53 078,47	62 873,00	73 354,20
	Costes operacionales [€/año]	59 131,00	82 455,00	84 771,00	69 495,00
	Costes propano [€/año]	19 994,00	20 625,00	21 038,00	20 625,00
	Costes otros químicos [€/año]	200,00	200,00	200,00	200,00
	Coste total anual [€/año]	118 312,80	156 358,47	168 882,00	163 674,20
Costes específicos	Por volumen de biogás [€/m ³]	0,4382	0,5501	0,6023	0,6036
	Por volumen de biometano [€/m ³]	0,6394	0,7782	0,8353	0,8538
Ingresos por la venta de biometano [€/año]		260 811,52	269 378,32	274 137,65	269 378,32
Ahorros conseguidos [€/año]		142 498,72	113 019,85	105 255,65	105 704,12
PRI [años]		3,22	4,79	5,61	6,14

Del estudio económico realizado se concluyó que, aunque los caudales de biometano procedentes de las diferentes tecnologías son muy similares, las membranas son la tecnología más económica dado sus menores costes de inversión, mantenimiento y operación.

2.7.3 Aislamiento de viejos digestores

2.7.3.1 Contexto

Los sistemas de tratamiento de fangos para la producción de biogás son equipos con años de operación a sus espaldas. Muchos de estos equipos no cuentan con un aislamiento adecuado, si es que lo tienen. Una fuente de pérdidas en las instalaciones industriales es el aislamiento de los equipos y de las conducciones entre los mismos. Los digestores son equipos que pueden trabajar a temperaturas entre 55 y 60°C, por lo que muchos utilizan sistemas de calorifugado, como intercambiadores de calor. Sin un buen aislamiento, una parte del calor suministrado se disiparía al ambiente, aumentando las necesidades caloríficas. Aislando los digestores, las temperaturas permanecen en el rango deseado más fácilmente y se mejora el rendimiento del proceso. Esta medida se recomienda para digestores con muchos años de operación.

2.7.3.2 Objetivo

Reducción de las pérdidas en forma de calor de los digestores.

2.7.3.3 Procesos y equipos afectados

La solución descrita es aplicable en los siguientes procesos de la EDAR:

- Línea de Lodos

Los equipos afectados por esta medida de mejora son el digestor de fangos.

2.7.3.4 Casos de aplicación

Digestores con varios años de funcionamiento o en zonas de temperaturas más frías, en los que las pérdidas de calor sean considerables.

2.7.3.5 Datos principales necesarios para evaluación de la medida

Los datos que deben tenerse en cuenta para hacer la evaluación de la medida son:

- Características aislamiento actual
- Características aislamiento futuro
- Temperatura interior
- Temperatura ambiente
- Coste asociado al aislamiento.
- Coste de la energía.

2.7.3.6 Ahorro Energético

Se pueden llegar a alcanzar ahorros de hasta un 10% con la implementación de esta solución, aunque es difícil establecer a priori los ahorros energéticos obtenidos.

El ahorro energético procede de la disminución de demanda calorífica a los equipos de calentamiento para mantener la temperatura idónea en el interior del tanque digestor.

El aislamiento puede realizarse con cualquier material aislante, como poliestireno, poliuretano, fibra de vidrio, etc. Suele calcularse para obtener un coeficiente de transmisión de calor de 2, 16 a 3,6 $\text{kJ/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$. (Fernández González *et al*).

El cálculo del espesor del aislante debe ser tal que garantice el gradiente de temperaturas adecuado, minimizando la inversión necesaria.

2.7.3.7 Casos de referencia

La EDAR de Crispijana, diseñada para el tratamiento de 185.000 $\text{m}^3/\text{día}$ y 480.000h.e. se ha llevado a cabo una impermeabilización integral con resinas, tanto en el interior como en el exterior del digestor nº3, y el aislamiento perimetral con espuma de poliestireno extruido del depósito para reducir los esfuerzos derivados de la diferencia de temperaturas.

Otras EDAR que han implantado esta solución son, por ejemplo, la EDAR Pinedo.

2.7.4 Inyección a red del biogás generado

2.7.4.1 Contexto

La inyección de gas a la red es una tecnología que todavía tiene poco recorrido en España, comparado con otros países de su entorno. Ha habido bastantes dificultades por la falta de normativa en lo referente a la calidad y condiciones del procedimiento de inyección a la red.

El gas inyectado debe cumplir las condiciones impuestas por parte del Gestor Técnico del Sistema Gasista tanto en composición como en caudal, lo que en ocasiones no resulta sencillo debido a la procedencia del biogás.

El biogás generado en las instalaciones de digestión anaerobia presenta alrededor de un 60% de metano, lo que permite su uso en calderas o sistemas de cogeneración. Pero para poder inyectarlo a la red debe eliminarse o convertir el CO₂, obteniendo biometano. Este proceso debe realizarse en plantas purificadoras, pero a día de hoy el número de este tipo de instalaciones en Europa no supera las 500, localizadas principalmente en Alemania y Austria.

2.7.4.2 Objetivo

Inyección de biogás generado en la estación depuradora a la red de gas.

2.7.4.3 Procesos y equipos afectados

La solución descrita es aplicable en los siguientes procesos de la EDAR:

- Línea de Lodos

Los equipos afectados por esta medida de mejora son el digester de fangos.

2.7.4.4 Casos de aplicación

La solución descrita es aplicable en los siguientes procesos de la EDAR:

- Línea de Lodos

Los equipos afectados por esta medida de mejora son el digester de fangos.

2.7.4.5 Datos principales para evaluación de la medida

Los datos que deben tenerse en cuenta para hacer la evaluación de la medida son:

- Producción de biogás
- Coste del gas generado.
- Precio del gas.

2.7.4.6 Ahorro Energético

En este caso no podemos hablar de un ahorro energético, puesto que no hay una disminución de consumo de energía en la EDAR. Se trata principalmente de un esfuerzo por valorizar los residuos tratados en las depuradoras, incorporando energía de procedencia renovable al sistema y mejorando la viabilidad económica de la planta y sus servicios.

2.7.4.7 Casos de referencia

Dentro de un proyecto desarrollado por Gas Natural Fenosa y EnergyLab se ha instalado en la EDAR de Bens, con una generación de biogás de unos 400nm³/h una planta de purificación de membranas, para tratar un caudal aproximado de 1Nm³/h. Se trata de una planta piloto, destinada a determinar los parámetros de funcionamiento óptimos y las limitaciones y condicionantes reales de esta tecnología.

Otras EDAR que han implantado esta solución son, por ejemplo, la Planta de biogás de Valdemingómez

2.7.5 Motores de gas

2.7.5.1 Contexto

A medida que el coste de la energía aumenta y el énfasis en las energías renovables aumenta, las autoridades locales y los municipios están buscando soluciones que ahorran dinero y cumplen con los requisitos renovables. Los motores de gas (que funcionan con biogás producido en la propia planta) proporcionan una solución de energía renovable que resulta en ahorros a largo plazo para plantas de tratamiento de aguas residuales.

2.7.5.2 Objetivo

Utilización del gas producido en la digestión por motores de gas que sustituyen a motores eléctricos.

2.7.5.3 Procesos y equipos afectados

La solución descrita es aplicable en los siguientes procesos de la EDAR:

- Línea de Lodos

Los equipos afectados por esta medida de mejora son los motores y el digestor de fangos.

2.7.5.4 Casos de aplicación

EDAR con generación de biogás y con motores sustituibles por motores de gas.

2.7.5.5 Datos principales necesarios para evaluación de la medida

Los datos que deben tenerse en cuenta para hacer la evaluación de la medida son:

- Producción de biogás
- Costes del motor de gas
- Consumo energético del motor
- Coste energía eléctrica
- Horas funcionamiento del motor
- Coste del gas producido

2.7.5.6 Ahorro Energético

Esta medida no supone una reducción del consumo energético de la planta, sino la sustitución de motores eléctricos, que funcionan con energía procedente de la red general, por motores que funcionan con un combustible procedente de la valorización de los residuos de la propia planta, cerrando el ciclo de optimización de los tratamientos realizados.

2.7.5.7 Casos de referencia

Algunas EDAR que han implantado esta solución son, por ejemplo: Nilothi WWTP; Dan Región WWTP o EDAR Mapocho-Trebal.

2.7.6 Secado solar de lodos

2.7.6.1 Contexto

Con objeto de reducir el volumen de lodos en depuradoras existen diferentes tipos de procesos según el grado de humedad final pretendido: espesamiento, deshidratación y secado térmico.

El secado térmico es un método utilizado muy común, que alcanza sequedades de lodos de hasta un 90%. Sin embargo, el gasto energético asociado a dicho proceso es muy elevado, es habitual que dicho calor provenga de la combustión del gas natural, del propio biogás de la depuradora o de bombas de calor. La utilización de tecnologías de secado solar de lodos puede reducir enormemente el gasto energético, estos sistemas se basan habitualmente en un secado bajo invernadero, con dispositivos para la ventilación y el volteo del lodo.

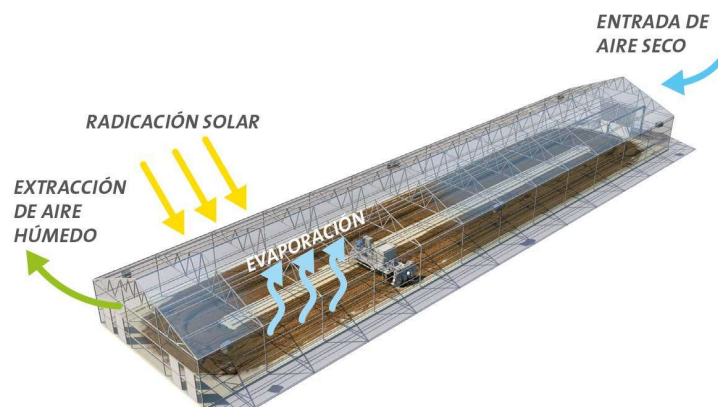


Figura 28: Planta de secado solar de lodos. Fuente: Veolia Water Technologies

2.7.6.2 Objetivo

Implantación de sistema de secado de lodos a partir de energía solar térmica.

2.7.6.3 Procesos y equipos afectados

La solución descrita es aplicable en los siguientes procesos de la EDAR:

- Línea de Lodos

Los equipos afectados por esta medida de mejora son el secadero de lodos.

2.7.6.4 Casos de aplicación

Un sistema de secado solar térmico reduce los costes de operación y de mantenimiento con respecto a un sistema convencional. Es aplicable en aquellas EDAR que tengan un elevado coste debido al secado de los lodos y que tengan suficiente espacio disponible para una instalación de este tipo, las dimensiones de la instalación serán función no sólo de la radiación incidente en la ubicación de la EDAR, sino que también dependerán del grado de sequedad perseguido y del ritmo de producción de fangos.

2.7.6.5 Datos principales para evaluación de la medida

Los datos que deben tenerse en cuenta para hacer la evaluación de la medida son:

- Datos de radiación solar
- Características del lodo
- Volumen de lodo a tratar
- Características meteorológicas: temperatura, humedad, precipitación, viento...
- Humedad final a conseguir
- Uso final del lodo

2.7.6.6 Ahorro Energético

Se pueden llegar a alcanzar ahorros de hasta un 80% con la implementación de esta solución.

Una planta de secado solar de este tipo tiene un consumo medio de 20-30 kWh/t de agua extraída, ratio que se puede comparar con el consumo que tenga en estos momentos la EDAR. Por ejemplo, un túnel de secado térmico mediante bombas de calor consumiría 510 kWh/t evaporada (Morenilla, J.J. *et al.* Funcionamiento del túnel de secado térmico de fangos de la EDAR de Ibi-Alicante).

2.7.6.7 Casos de referencia

La EDAR de Montaña Blanca, con una capacidad de 3.000 m³/día y una producción de los de 260 tn MS/año, instaló una planta de secado solar en 2.007, con unas dimensiones de 700 m² y una potencia total instalada en equipos de 14 kW.

Otras EDAR que han implantado esta solución son, por ejemplo:

- EDAR Alto Iregua
- Planta de Can Canut

2.7.7 Minieólica

2.7.7.1 Contexto

La implantación de sistemas eólicos en plantas industriales para la autogeneración de energía eléctrica es cada vez más atractiva debido a la disminución de costes de fabricación de turbinas eólicas y al incremento del precio de la energía eléctrica.

Las EDAR son plantas particularmente interesantes para instalación de este tipo de tecnologías pues tienen consumo durante las 24 horas por lo que, con una instalación correctamente dimensionada, se podría aprovechar toda la energía producida por la instalación.

Las turbinas minieólicas, aquellas con potencias instaladas menores de 100 kW, se pueden clasificar en dos grupos: de eje vertical y de eje horizontal. Las segundas son las más extendidas.

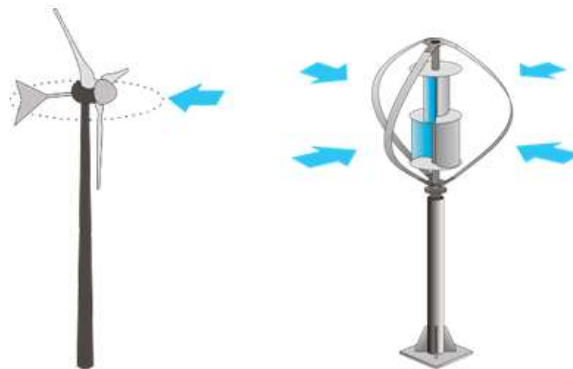


Figura 29: Turbinas de eje horizontal/vertical. Fuente: e-watt

La utilización de energía eólica tiene como ventaja, respecto a la solar, que no depende de que no sólo genera durante el día, aunque por otro lado presenta mayores costes de mantenimiento.

2.7.7.2 Objetivo

Implantación de una instalación de minigeneración eólica para cubrir la demanda base de la EDAR.

2.7.7.3 Procesos y equipos afectados

La solución descrita es aplicable en los siguientes procesos de la EDAR:

- Producción de energía

2.7.7.4 Casos de aplicación

Debido a la demanda base relativamente definida que presenta una EDAR, el uso de energías renovables de carácter aleatorio e intermitente como la eólica o la solar son una opción a considerar. Con un dimensionamiento correcto podremos aprovechar toda la energía producida por dichas fuentes. El suministro de electricidad quedaría garantizado manteniendo la conexión a la red eléctrica, evitando la instalación de baterías.

Para la instalación de un sistema minieólico es fundamental que el emplazamiento de la EDAR tenga unas condiciones de viento óptimas para obtener el mejor aprovechamiento de este recurso. Es importante conocer la media de velocidades de viento, así como su distribución. Además, es fundamental poder contar con una ubicación libre de obstáculos en las direcciones predominantes del viento para evitar turbulencias indeseadas.

2.7.7.5 Datos principales necesarios para evaluación de la medida

Los datos que deben tenerse en cuenta para hacer la evaluación de la medida son:

- Velocidad media de viento.
- Distribución de velocidades.
- Precio de la energía eléctrica.
- Demanda base de la EDAR.

Al contrario que en la energía solar, no existe uniformidad por áreas en el recurso eólico. El análisis del recurso eólico disponible es complejo, y debería ser realizado por empresas especializadas. Para disponer de una orientación sobre la disponibilidad de viento y la producción esperada en la zona se pueden utilizar las bases de datos disponibles, como el Atlas Eólico de España, desarrollado por el IDAE. En el caso de Portugal, existen empresas similares que hacen el mismo tipo de previsión en cuanto a disponibilidad de ese recurso y sus respectivas características (por ejemplo Prewind).

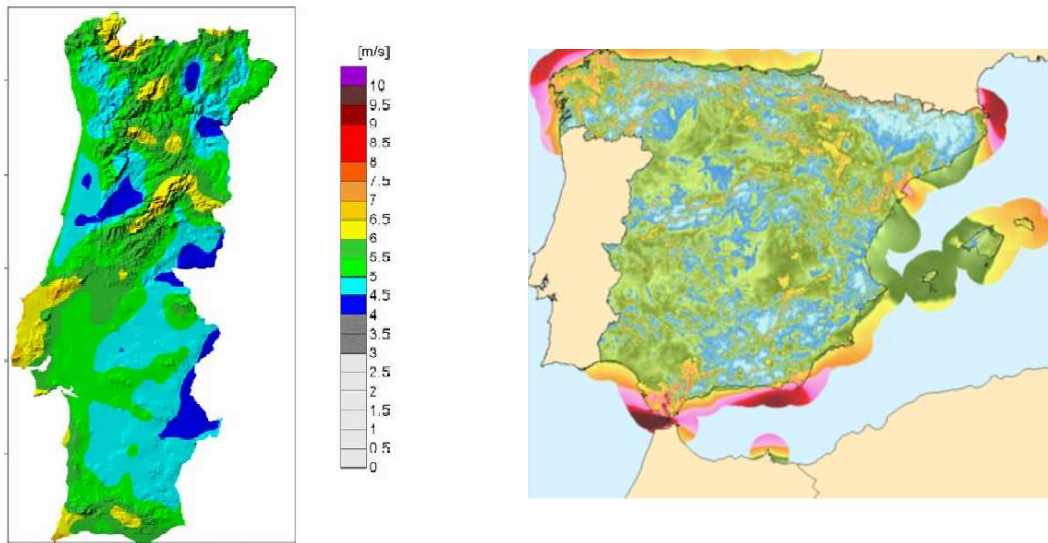


Figura 30: Atlas Eólico de Portugal y España

2.7.7.6 Ahorro Energético

Se pueden llegar a alcanzar ahorros de hasta un 10% o incluso superiores con la implementación de esta solución. Cuanto mayor sea la potencia instalada, mayor será la producción -siempre que exista recurso eólico- y mayor el ahorro. Pero evidentemente también será mayor la inversión a realizar, por lo que es importante encontrar el equilibrio entre inversión y ahorros obtenidos, además de evitar instalaciones sobredimensionadas.

Para poder evaluar técnica y económicamente esta mejora alcanzados se debería proceder a:

- Análisis de la curva de demanda de energía eléctrica
- Análisis de la distribución de costes de energía eléctrica según periodo
- Análisis de la disponibilidad de recurso eólico
- Dimensionamiento de la instalación eólica, determinando la potencia a instalar necesaria para generar el máximo ahorro, es decir, que cubra un porcentaje elevado de la demanda de la planta, puesto que estas instalaciones están pensadas para autoconsumo.
- Cálculo del ahorro energético, de acuerdo al recurso existente y la potencia de la instalación.
- Cálculo del ahorro económico anual teniendo en cuenta el coste de la energía por cada periodo, la disminución de la potencia contratada y los costes de mantenimiento.

- Cálculos de variables económicas como el VAN, el TIR y el período de retorno de la inversión.

Herramientas como el Atlas Eólico de España (<http://atlaseolico.idae.es/meteosim/>) permiten realizar una primera aproximación a la producción esperada, en este caso, para un aerogenerador de 100kW:

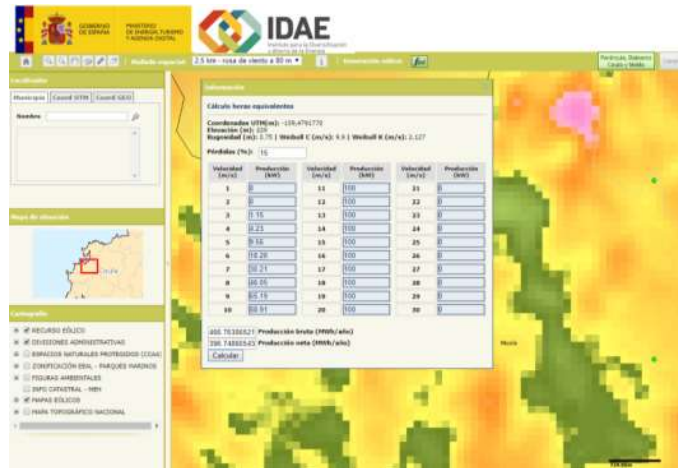


Figura 31: Calculo de producción s/Atlas Eólico de España

2.7.7.7 Casos de referencia

Dentro del proyecto Life RENEWAT se han instalado en la EDAR de Archena un sistema de energías renovables para autoconsumo formado por 100kW de fotovoltaica y un aerogenerador de 5 kW de potencia, que alimentan la EDAR y una bomba de fangos en exceso, aislada de la red:



Figura 32: Instalaciones renovables EDAR Archena. Fuente: Proyecto RENEWAT

También dentro de un proyecto europeo, RETALER II, se han instalado 4 generadores mini-eólicos en 4 depuradoras de pequeño tamaño: As Touzas, Baltar, Monterrei y Sandiás, en Ourense, aprovechando que en esta zona de Galicia se registran unas 1.800 horas equivalentes.



Figura 33: Instalación eólica en EDAR Baltar . Fuente: Proyecto RETALER II

2.7.8 Energía solar fotovoltaica

2.7.8.1 Contexto

Los paneles solares fotovoltaicos convierten directamente la radiación solar en energía eléctrica limpia y renovable, sin emisiones, ruido o contaminación. La energía solar fotovoltaica es una tecnología madura, con cientos de GW de potencia instalada a nivel mundial, y compite ya en costes de producción con las fuentes de generación tradicionales. No tiene componentes móviles y por lo tanto requiere un mínimo mantenimiento.

Las EDAR son plantas particularmente interesantes para instalación de este tipo de tecnologías pues tienen consumo permanente durante todo el día y durante todos los días del año, por lo que, con una instalación correctamente dimensionada, se podría aprovechar toda la energía producida por la instalación fotovoltaica, maximizándose así los beneficios obtenidos.



Figura 34: Instalaciones fotovoltaicas en EDAR de Copero (Sevilla) y Edar de Torremayor (Badajoz)

2.7.8.2 Objetivo

El objetivo de esta solución es la implantación de una instalación solar fotovoltaica con objeto de reducir el consumo de energía eléctrica de la planta.

Por el carácter transnacional de este proyecto y las diferentes condiciones regulatorias de cada país en cuanto a venta de energía a la red, en esta sección se analizarán instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo sin venta de energía eléctrica, es decir dimensionadas para cubrir la demanda base de la EDAR y que no inyectan energía a red.

2.7.8.3 Casos de aplicación

Debido a la demanda base permanente que presenta una EDAR, el uso de energías renovables de carácter aleatorio e intermitente como la solar fotovoltaica es una opción interesante a considerar. Con un dimensionamiento correcto basado en esta demanda base podremos aprovechar toda la energía producida por dichas fuentes. La siguiente figura muestra la demanda eléctrica horaria (kWh) durante la primera semana del año en una EDAR de Galicia diseñada para tratar 48.000 habitantes equivalentes de diseño y un caudal diario de 12.000 m³/d. Como se puede observar la demanda de la EDAR es considerable durante todo el periodo.

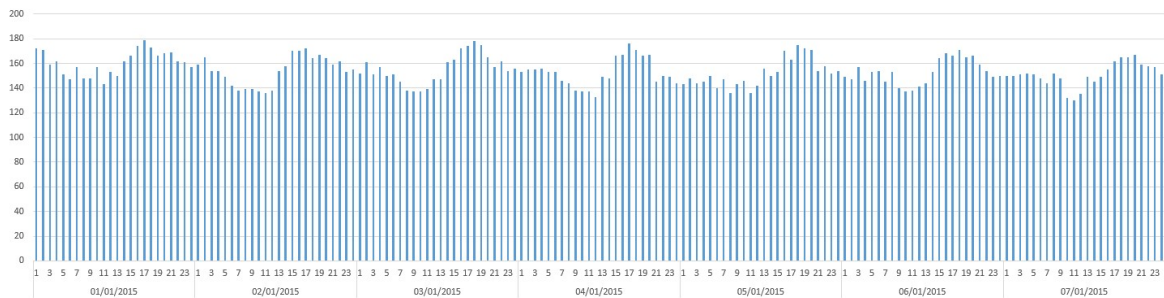


Figura 35: Consumo energético de una EDAR de Galicia durante un periodo de una semana.

Unas condiciones de radiación más favorables implicarán una producción de energía mayor, se debe consultar por tanto un mapa de radiación solar de la ubicación de la depuradora a la hora de analizar la viabilidad de la instalación. Además, se debe considerar que la presencia de sombras o el espacio disponible en la parcela de la EDAR o en las cubiertas puede limitar el tamaño de la instalación.

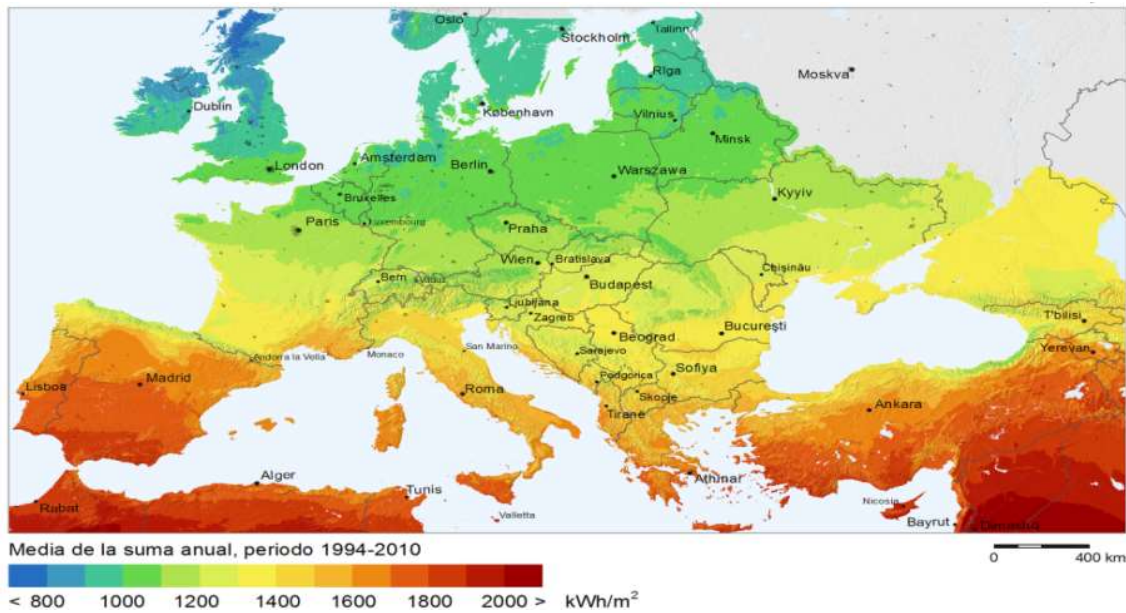


Figura 36: Mapa de irradiación horizontal recibida en Europa. Fuente Mapa solar de GHI.

2014 GeoModel Solar

La anterior imagen muestra la ubicación privilegiada de España y Portugal en cuanto a kWh/m² de irradiación horizontal recibida con respecto a otros países europeos.

2.7.8.4 Datos principales necesarios para evaluación de la medida

- Demanda base de la EDAR
- Datos de radiación en la ubicación de la EDAR
- Precio de compra de la energía eléctrica por parte de la EDAR
- Costes de inversión y mantenimiento

2.7.8.5 Ahorro energético

Se pueden llegar a alcanzar ahorros de hasta un 15% con la implementación de esta solución. Con objeto de conocer el ahorro energético que una instalación fotovoltaica puede aportar, se debe llevar a cabo el siguiente procedimiento.

- Análisis de la curva de demanda de energía eléctrica
- Análisis de la distribución de costes de energía eléctrica según periodo
- Análisis de la irradiación incidente en la zona y dimensionamiento de la instalación solar fotovoltaica para generar el máximo ahorro (en este caso teniendo en cuenta que la instalación no verterá energía a la red)
- Cálculo del ahorro energético según irradiación incidente y dimensión de la instalación.
- Cálculo del ahorro económico anual teniendo en cuenta el coste de la energía por cada periodo, la disminución de la potencia contratada y los costes de mantenimiento.
- Cálculos de variables económicas como el VAN, el TIR y el período de retorno de la inversión.

En la siguiente figura se muestra una gráfica del cashflow acumulado para una inversión en una instalación fotovoltaica sin inyección a red de 7kW, para la que se ha supuesto un coste de mantenimiento de 183 €/año, un IPC eléctrico del 4% y unas pérdidas anuales de rendimiento del 0,3%. Con estas premisas se obtiene un periodo de amortización sensiblemente menor que 8 años y un TIR del 10,3%.

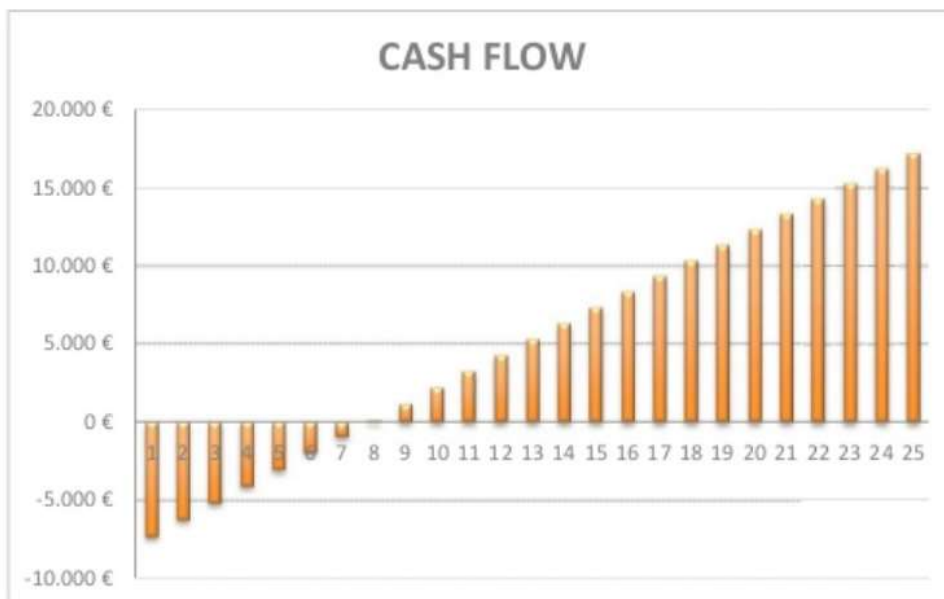


Figura 37: Cash Flow acumulado para una instalación fotovoltaica de 7 kW. Fuente: Krannich

2.7.8.6 Casos de referencia

España

La EDAR de Torremayor dispone de una instalación solar fotovoltaica de 11,96 kW, soportados mediante estructura inclinada sobre tejado. La producción estimada es de 18.861 kWh al año, implantándose además un sistema de gestión y monitorización.

La EDAR de Murcia Este con una potencia instalada de 520kWp, sobre suelo, produce anualmente 5700 MWh anuales.

Otras EDAR que han implantado esta solución son, por ejemplo:

- EDAR Molina Norte
- EDAR La Hoya
- EDAR Copero

Portugal

En la EDAR del Freixo, está en fase de ejecución la construcción de una instalación de energía solar fotovoltaica de 450 kWp en los alrededores de la EDAR. La producción estimada anual será unos 618.339 kWh de energía eléctrica, lo que representa el 15% del consumo global de energía eléctrica. En la figura siguiente se muestra la disposición de este campo solar, así como la producción estimada de la instalación al largo del año.

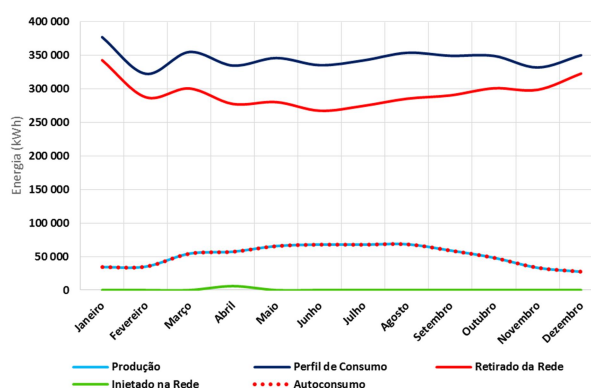


Figura 37: Imagen de la instalación solar a implementar en el Freixo.

Consumo y producción mensual estimada.

En la EDAR de Sobreiras, también se encuentra en fase de ejecución la instalación de un campo solar fotovoltaico de 230 kWp, se estima que producirá anualmente cerca de 315.000 kWh lo que representa un 3% del consumo global de energía eléctrica de la estación. En la figura siguiente se muestra la disposición del campo solar en la EDAR así como la caracterización productiva del mismo a lo largo de los diferentes meses del año.

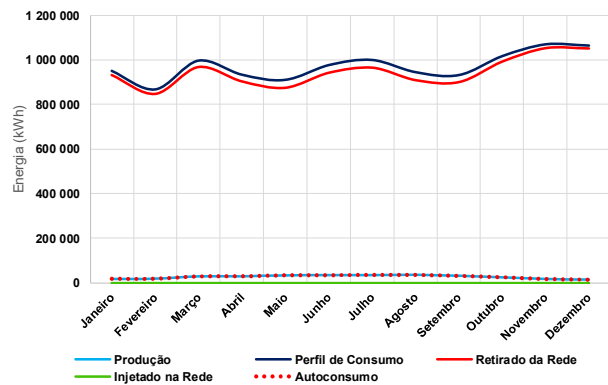


Figura 38: Imagen de la instalación solar a implementar en Sobreiras.

Consumo y producción mensual estimada.

2.7.9 Aprovechamiento energía hidráulica

2.7.9.1 Contexto

El aprovechamiento de la energía potencial y cinética del agua para su transformación en energía eléctrica es una práctica comúnmente utilizada. En muchas depuradoras existen saltos de agua o recorridos en pendiente en donde esta energía puede ser transformada en energía eléctrica mediante la utilización de una turbina. Se trata de una energía limpia, con costes de operación bajos y con una alta disponibilidad, aunque los costes de mantenimiento pueden ser elevados y es necesario realizar un estudio de viabilidad detallado para cada caso.

2.7.9.2 Objetivo

Instalación de turbinas capaces de obtener parte de la energía cinética y/o potencial del agua a la entrada o a la salida de la planta.

2.7.9.3 Procesos y equipos afectados

La solución descrita es aplicable en los siguientes procesos de la EDAR:

- Producción de energía

2.7.9.4 Casos de aplicación

Existen 2 ubicaciones donde se puede plantear este tipo de instalación:

- En la entrada de la depuradora, siempre que ésta esté ubicada a una menor cota que la red de saneamiento. En este caso, al tratarse de aguas todavía no tratadas, será necesario elegir una turbina diseñada para aguas brutas, y será necesario realizar un pretratamiento previo a la turbina.
- En la salida de la depuradora, en el efluente, cuando existe una diferencia de cota entre la planta y el punto de vertido, al tratarse de agua ya depurada las exigencias a la turbina serán menores.

2.7.9.5 Datos principales necesarios para evaluación de la medida

Los datos que deben tenerse en cuenta para hacer la evaluación de la medida son:

- Diferencia de cotas
- Caudal

2.7.9.6 Ahorro Energético

Se pueden llegar a alcanzar ahorros de hasta un 3% con la implementación de esta solución.

2.7.9.7 Casos de referencia

Un ejemplo de proyecto de aplicación de dicho método es la EDAR de La Cartuja (Zaragoza), donde está en proyecto aprovechar el salto de 8,50 metros que se produce entre la salida del agua depurada y la lámina del río Ebro. En este caso, la planta se construyó a una cota más alta que el río para protegerla de las crecidas. La producción de energía prevista con esta actuación será aproximadamente de 685.000 kWh al año.

Otras EDAR que han implantado esta solución son, por ejemplo, la EDAR de Cartelle.

2.8 ILUMINACIÓN

2.8.1 Mejora del sistema de iluminación

2.8.1.1 Contexto

Las tecnologías de iluminación que más frecuentemente se pueden encontrar en estaciones de depuración son (de menos a más eficiencia):

- Incandescente
- Halógenas
- Fluorescente compacta
- Fluorescente tubular
- Halogenuros metálicos
- Sodio baja presión
- LED

Las nuevas tecnologías presentan mejores relaciones lm/W y por lo tanto disminuyen el consumo energético. Pese a que la potencia instalada en iluminación en las EDAR no es significativa, existen luminarias que funcionan un elevado número de horas, y la energía ahorrada utilizando tecnologías con mayor rendimiento lumínico puede ser apreciable.

En los últimos años, el desarrollo de la tecnología LED ha puesto en el mercado luminarias y lámparas muy eficientes y fiables, de larga vida útil, regulables y con consumos inferiores al 20% de las luminarias tradicionales.

2.8.1.2 Objetivo

Sustitución de luminarias por luminarias con más rendimiento lumínico.

2.8.1.3 Procesos y equipos afectados

La solución descrita es aplicable en los siguientes procesos de la EDAR:

- Sistema de iluminación

Los equipos afectados por esta medida de mejora son las luminarias.

2.8.1.4 Casos de aplicación

Es una medida aplicable a todos los centros que utilicen sistemas de iluminación poco eficientes. Dependiendo fundamentalmente de la tecnología y del número de horas anuales de funcionamiento de las luminarias a analizar los periodos de retorno de la inversión serán más o menos atractivos.

2.8.1.5 Datos principales necesarios para evaluación de la medida

Los datos que deben tenerse en cuenta para hacer la evaluación de la medida son:

- Tecnología luminarias
- Horas de uso
- Potencia instalada
- Coste de la energía eléctrica

2.8.1.6 Ahorro Energético

Se pueden llegar a alcanzar ahorros de hasta un 40% con la implementación de esta solución.

Para un cálculo sencillo del ahorro podemos calcular la potencia instalada en los equipos existentes, y la que resultaría tras el cambio a LED. A partir de ahí, basta con establecer el consumo (en función de las horas de uso) y su coste.

Tabla 15. Potencias equivalentes en función de la tecnología

Potencias (W) equivalentes		
Incandescencia Halógenos	Bajo Consumo Fluorescentes	Lámparas LED
10	-	1
20	-	3
25	-	5
35	-	7
60	20	10
80	24	12
100	30	15
150	40	20

Supongamos por ejemplo una EDAR con los siguientes equipos de iluminación:

- 4 Fluorescentes de 30W, instalados en oficinas de control, funcionando 10 horas/día
- 6 bombillas de bajo consumo, de 20 W, en aseos, con un funcionamiento diario medio de 3 horas
- 10 focos halógenos exteriores, con 100W de potencia cada uno, encendidos una media de 8 horas/día.

El consumo anual de estos equipos se puede calcular aproximadamente:

$$\text{Consumo (kWh)} = \text{Potencia instalada} \times \text{horas de funcionamiento} = (4 \times 30 \times 10 + 6 \times 20 \times 3 + 10 \times 100 \times 8) \times 365 / 1.000 = 3.489,4 \text{ kWh/año}$$

Si los sustituimos por sus equivalentes en LED:

$$\text{Consumo (kWh)} = (4 \times 15 \times 10 + 6 \times 10 \times 3 + 10 \times 15 \times 8) \times 365 / 1.000 = 722,7 \text{ kWh/año}$$

Conseguimos por lo tanto un ahorro energético anual de 2.766,7 kWh/año. Si consideramos un precio de la electricidad de 0,12€/kWh, el ahorro económico rondaría los 335€/año. Al tratarse de una medida de bajo coste, menos de 2.000€, el período de retorno de la inversión es muy bajo.

2.8.1.7 Casos de referencia

La Depuradora de La Hoya es de Fangos activo doble etapa con digestión anaerobia y desinfección por rayos ultravioleta y está diseñada para una población de 80.000 habitantes equivalentes. En esta EDAR, las mejoras en iluminación consiguieron un ahorro en electricidad de 5.968 kWh/año, que suponiendo un coste de 0,15€/kWh, son más de 715€/año.

Otras EDAR que han implantado esta solución son, por ejemplo:

- EDAR La Cartuja
- EDAR Dos Hermanas

2.9 SISTEMA DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA

2.9.1 Plataforma de monitorización y supervisión energética

2.9.1.1 Contexto

En el mercado actual existe un gran abanico de soluciones que permiten monitorizar los consumos eléctricos en una empresa/edificio/instalación.

Estas soluciones son plataformas que permiten realizar la gestión, monitorización y control de no sólo los diferentes consumos, sino que también de la facturación.

Los sistemas de gestión de consumos permiten la gestión, monitorización y control de los consumos energéticos y de la facturación. La estructura principal de estas plataformas está compuesta por: contadores, sistema de comunicación que puede ser por cable o inalámbrico, concentrador de los datos registrados y un servidor donde se trata y almacena toda la información registrada por los contadores. La visualización de la información se puede realizar a través de un PC, laptop, móvil, etc. que se puede conectar al servidor por Ethernet, Wifi, GPRS/3G.

Entre otras prestaciones los sistemas de monitorización de consumos energéticos permiten:

- Monitorizar y visualizar online todos los datos de consumos energéticos a tiempo real durante 24 horas y los 365 días del año.
- Monitorizar y controlar centralizadamente el consumo energético.
- Obtener datos históricos y perfiles de carga de la instalación.
- Contrastar facturas de la compañía, principalmente eléctricas.
- Asignar costes energéticos por zona, instalación, etc.
- Determinar costes por unidad de consumo.
- Actuar sobre los componentes de consumo del edificio en tiempo real.
- Mejorar la sostenibilidad y reducir las emisiones de CO₂.

2.9.1.2 Objetivo

Instalación de un sistema de monitorización energética para el análisis de los flujos energéticos y las condiciones de consumo en la EDAR.

2.9.1.3 Procesos y equipos afectados

La solución descrita es aplicable en los siguientes procesos de la EDAR:

- Todos los procesos

2.9.1.4 Casos de aplicación

Los sistemas de monitorización no conllevan a la disminución del ahorro energético de forma directa, sino aportan una información muy valiosa para guiar al gestor de planta hacia donde se debe actuar. Generalmente el ahorro energético obtenido por estos sistemas se debe a la mejora de la gestión de facturación, verificación errores de facturación, detección del exceso de reactiva y del exceso de potencia además de detectar y avisar la variación del consumo de energía con respecto a valores normales.

2.9.1.5 Datos principales necesarios para evaluación de la medida

Los datos que deben tenerse en cuenta para hacer la evaluación de la medida son:

- Consumo energético de la planta.
- Principales circuitos consumidores.
- Intensidades de los circuitos a analizar.

2.9.1.6 Ahorro Energético

La tipología, gestión y el tamaño de la instalación afecta de manera directa a los desvíos en el consumo que se pueden detectar, por lo que los ahorros obtenidos son muy variables yendo desde el 3% hasta el 15%.

2.9.1.7 Casos de referencia

España

La Edar Martorell implantó un sistema de control energético que supuso la instalación de una serie de analizadores de redes ubicados en puntos estratégicos, para recabar los valores eléctricos necesarios de la instalación. Adicionalmente se instalaron centrales de diferenciales, un ordenador con su software SCADA de gestión, y una red de comunicaciones de fibra óptica para recoger los datos y coordinar todas las operaciones. El sistema supuso un ahorro energético del 8,6%:

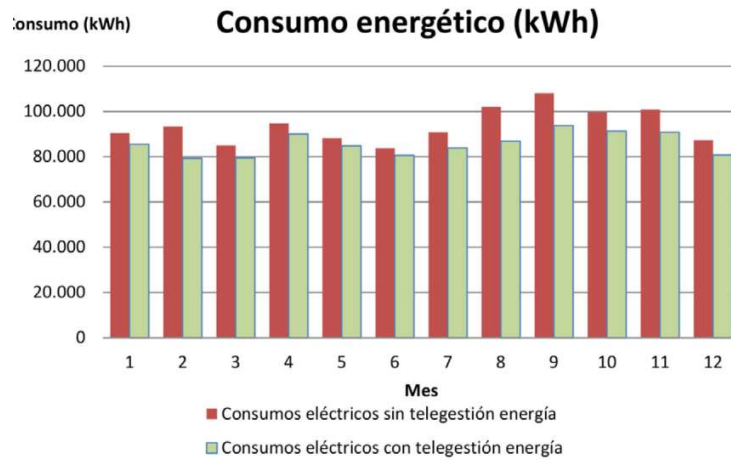


Figura 38: Consumos EDAR Martorell. Fuente: Circutor

Portugal

En la EDAR de Vila Real a finales de 2012 fue instalado un sistema de monitorización de consumos de energía eléctrica en la instalación, proceso que permitió al operador identificar sectores de mayor consumo e intervenir directamente en ese ámbito. En particular, el proceso de aireación, conjuntamente con la operación de la instalación, figuraba como uno de los focos de mayor consumo. Así, mediante el ajustamiento del set- point de lodos junto con la monitorización energética, ha evitado un funcionamiento adicional del sistema de aireación, asegurando el éxito del tratamiento y reduciendo los valores de consumo específico de aproximadamente un 5% (comparación del consumo específico entre 2012 y 2015).



Interreg
España - Portugal

Fondo Europeo de Desarrollo Regional



AQUALITRANS
PROGRAMA DE COOPERACIÓN
INTERREG V-A ESPAÑA-PORTUGAL (POCTEP) 2014-2020 - PROGRAMA DE
COOPERAÇÃO INTERREG V-A ESPANHA-PORTUGAL (POCTEP) 2014-2020

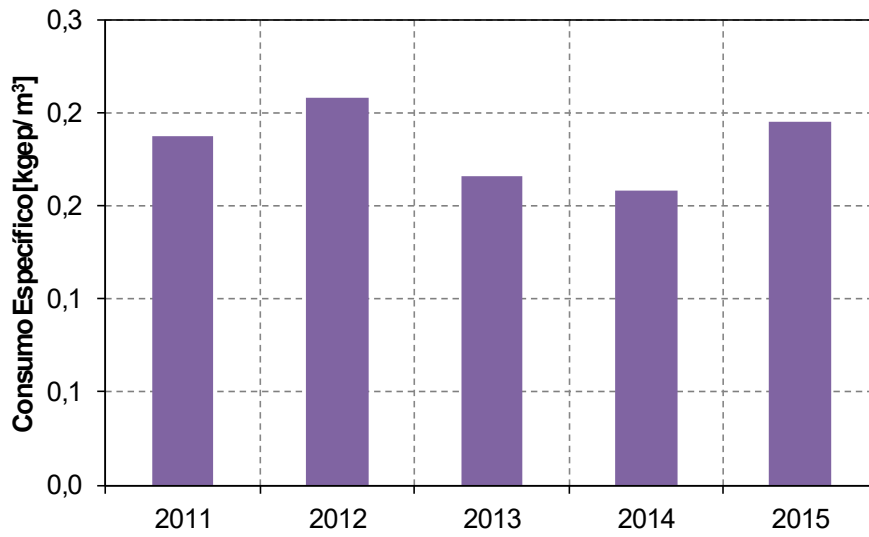


Figura 39: Consumos específicos 2011-2015 de la EDAR de Vila Real

La EDAR de Sobreiras también tiene monitorización energética de los principales procesos consumidores de energía eléctrica.

2.10 ADECUACIÓN TARIFA ELÉCTRICA

2.10.1 Ajuste de la potencia contratada

2.10.1.1 Contexto

El término de potencia tiene un peso considerable en la factura eléctrica por lo que es necesario adecuar la potencia contratada a la realmente demandada por la instalación. Muchas EDAR tienen contratada una potencia que no se ajusta a sus necesidades reales, y tanto por exceso o por defecto de potencia contratada se puede estar incurriendo en costes o penalizaciones innecesarias. Es importante comparar la potencia contratada con la potencia de máxímetro, que indica la máxima potencia registrada del periodo correspondiente durante el mes indicado, de modo que se detecte si existe un potencial de ahorro por adecuación de las potencias contratadas al perfil de consumo.

Durante la fase de diseño de la planta no se suele tener en cuenta el momento en el que se van a tratar las aguas o los fangos. Al no tener un coste energético constante, existen momentos en los que la energía es más cara, esto puede suponer un incremento en la factura de la luz.

Desplazar los procesos con mayor demanda energética, siendo ésta un 45% aproximadamente de los costes totales, supone grandes ahorros en la factura. Para aplicar esta medida se tendrá que comprobar que el proceso propuesto se pueda desplazar, sin ocasionar problemas a la línea.

2.10.1.2 Objetivo

Evaluación de la demanda de potencia real de la depuradora y cálculo de la potencia óptima a contratar.

Realizar los procesos de gran demanda energética en franjas horarias con un menor coste. Reducir la energía empleada en horario punta.

2.10.1.3 Procesos y equipos afectados

La solución descrita es aplicable en los siguientes procesos de la EDAR:

- Todos los procesos

2.10.1.4 Casos de aplicación

Todas aquellas EDAR en cuyas facturas se observen desvíos positivos o negativos entre la potencia contratada y las lecturas máximas de potencia demandada realizadas por los máxímetros.

Siempre que la actividad productiva lo permita sería interesante que aquellas tareas cuyo consumo supone un importante peso sobre el total de la planta se realicen en los períodos tarifarios más baratos.

En depuradoras de aguas residuales se puede plantear el desplazamiento de cargas como la deshidratación, la aireación o ciertos bombeos como la recirculación de lodos.

Esta medida debe ser analizada con más profundidad desde el punto de vista operacional antes de poder ser implantada.

2.10.1.5 Datos principales necesarios para evaluación de la medida

Los datos que deben tenerse en cuenta para hacer la evaluación de la medida son:

- Potencia contratada.
- Lecturas máxímetros.
- Tarifa contratada.
- Energía consumida.
- Horas de funcionamiento.
- Tarifa del kWh según periodo.

2.10.1.6 Ahorro Energético

La medida no supone ninguna variación en la energía activa consumida, aunque supondrá un ahorro económico debido a la diferente tarificación del kWh.

2.10.1.7 Casos de referencia

Algunas EDAR que han implantado esta solución son, por ejemplo:

- EDAR Empuriabrava
- EDAR Murcia
- EDAR Martorell

2.10.2 Desplazamiento de cargas a periodos tarifarios más económico

2.10.2.1 Contexto

Los contratos relativos al suministro eléctrico a los que suelen estar acogidos las estaciones depuradoras no presentan un precio constante del kWh durante todo el día, sino que este precio varía de precio en función del periodo del día en el que se consuma la energía eléctrica. Habitualmente, en las modalidades de contratos más utilizados por las empresas de este sector, el día es dividido en 3 periodos (tarifa 3.1.) o en 6 periodos (tarifa 6,1). Los periodos más baratos son aquellos que discurren cuando el consumo a nivel general es bajo y los periodos más caros cuando es alto. La diferencia entre el precio del kWh entre el periodo más barato y el periodo más caro puede alcanzar una cantidad muy considerable, en EDAR analizadas se llegan a alcanzar precios nocturnos que son hasta un 50% más baratos que los precios en periodos punta.

2.10.2.2 Objetivo

Realizar los procesos de gran demanda energética en franjas horarias con un menor coste del kWh. Reducir la energía empleada en horario punta.

2.10.2.3 Procesos y equipos afectados

La solución descrita es aplicable en los siguientes procesos de la EDAR:

- Todos los procesos

2.10.2.4 Casos de aplicación

Siempre que la actividad productiva lo permita sería interesante que aquellas tareas cuyo consumo supone un importante peso sobre el total de la planta se realicen en los períodos tarifarios más baratos. En depuradoras de aguas residuales se puede plantear el desplazamiento de cargas como la deshidratación, la aireación o ciertos bombeos como la recirculación de lodos. Esta medida debe ser analizada con más profundidad desde el punto de vista operacional antes de poder ser implantada.

2.10.2.5 Datos principales necesarios para evaluación de la medida

Los datos que deben tenerse en cuenta para hacer la evaluación de la medida son:

- Energía consumida.
- Horas de funcionamiento.

- Tarifa del kWh según periodo.

2.10.2.6 Ahorro Energético

La medida no supone ninguna variación en la energía activa consumida, aunque supondrá un ahorro económico debido a la diferente tarificación del kWh.

2.10.2.7 Casos de referencia

España

Entre las EDAR que están estudiando esta reorganización de consumos están la EDAR de Os Tilos y EDAR Pontevea.

Portugal

En la EDAR del Freixo el proceso de deshidratación y de espesamiento de lamas se restringe a los días fines de semana y festivos (viernes, sábado y domingo) en que prevalecen los periodos de vacío y super vacío y los días hábiles el funcionamiento se restringe a los periodos nocturnos donde se encuentran los mismos periodos de facturación. Ese funcionamiento intensivo de este sector en esos periodos tiene como principal objetivo la reducción de los costes de energía.

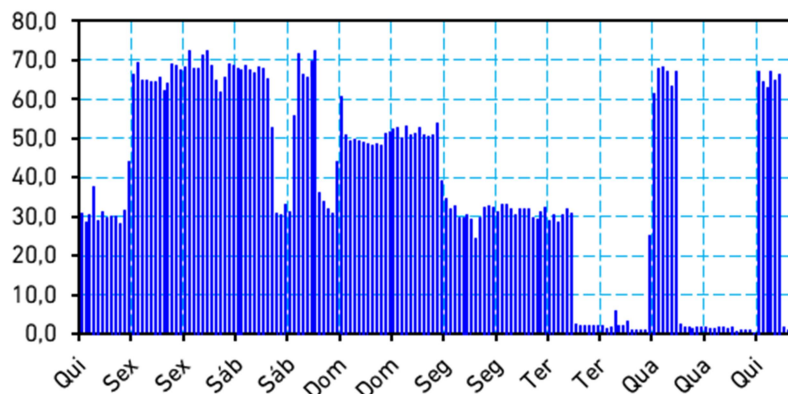


Figura 40 – Diagrama de carga semanal del setor de deshidratación y espesamiento de lamas

Las mesas de espesamiento y deshidratación poseen controladores electrónicos integrados por lo que se encuentran optimizados en terminos energéticos.

2.10.3 Ajuste del factor de potencia

2.10.3.1 Contexto

La energía reactiva, que no produce un trabajo físico directo en los equipos, es necesaria para producir el flujo electromagnético que pone en funcionamiento elementos tales como: motores, transformadores, lámparas fluorescentes, equipos de refrigeración y otros similares. Cuando la cantidad de estos equipos es apreciable, los requerimientos de potencia reactiva también se hacen significativos, produciéndose una disminución del factor de potencia, es decir, un desfase entre la onda de tensión y la de intensidad.

Un factor de potencia 1 indica que se está aprovechando toda la energía consumida. La lámparas fluorescentes tiene un factor de 0,5 y un motor asíncrono, al 100% de carga, no supera el 0,85. El hecho de que exista un bajo factor de potencia supone una serie de inconvenientes al consumidor de energía:

- Aumento de la intensidad de corriente.
- Pérdidas en los conductores y fuertes caídas de tensión.
- Incrementos de potencia de las plantas y transformadores, reducción de su vida útil y reducción de la capacidad de conducción de los conductores.
- La temperatura de los conductores aumenta y esto disminuye la vida de su aislamiento.
- Aumento en las facturas por consumo de electricidad. Las compañías eléctricas cobran el consumo de energía reactiva, aunque sea una energía que realmente no se utiliza.

Para evitar estos problemas, es necesario corregir el consumo de reactiva mediante condensadores. La batería de condensadores es un equipo de compensación automático debe ser capaz de adecuarse a las variaciones de potencia de reactiva de la instalación para conseguir mantener el $\cos \varphi$ objetivo de la instalación, superior al 0,95.

2.10.3.2 Objetivo

Reducir el consumo de energía reactiva mediante empleo de baterías de condensadores.

2.10.3.3 Procesos y equipos afectados

La solución descrita es aplicable en los siguientes procesos de la EDAR:

- Todos los procesos que consuman electricidad

2.10.3.4 Casos de aplicación

La compensación de la energía reactiva debe realizarse en aquellas estaciones depuradoras con factores de potencia alejados de 0,95 (inductivo)

2.10.3.5 Datos principales necesarios para evaluación de la medida

Los datos que deben tenerse en cuenta para hacer la evaluación de la medida son:

- Energía activa consumida.
- Energía reactiva consumida.

La forma más sencilla de comprobar este consumo de reactiva es a partir de las facturas de consumo emitidas por la comercializadora.

2.10.3.6 Ahorro Energético

La medida no supone variación en la energía activa consumida, aunque supondrá un ahorro económico debido a la reducción de penalizaciones derivadas del consumo de reactiva.

2.10.3.7 Casos de referencia

España

Entre las EDAR que han implantado esta solución están:

- EDAR Martorrel
- EDAR Ceuta

Portugal

En la EDAR del Freixo, la compensación de la energía eléctrica reactiva consumida, se realiza mediante sistemas de compensación automática instalados en los cuadros generales de baja tensión, en armarios propios y comandados por relés varimétricos. Tal como se observa en la figura siguiente, se consigue una compensación eficaz en los periodos de fuera de vacío, con un factor de potencia de 1 a lo largo del año

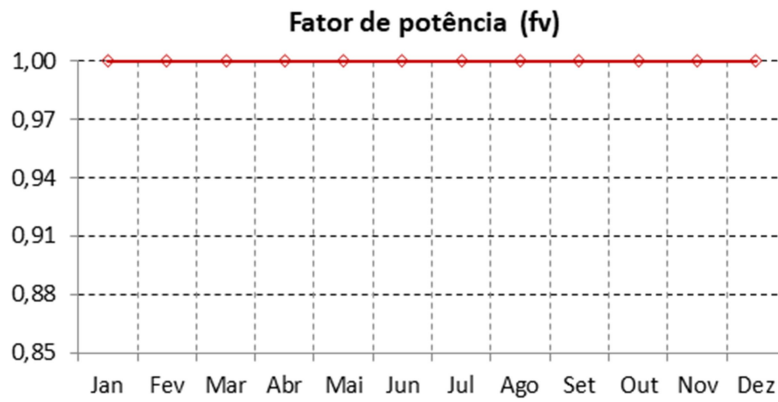


Figura 41 –Evolución mensual del fator de potencia médio (fuera de de vazio / 2014)

La EDAR de Sobreiras también tiene el mismo sistema de compensación de energía reactiva, sin embargo los valores de factor de potencia varían entre 0,95 y 1 a lo largo del año.

3 SOLUCIONES INNOVADORAS APLICADAS EN LA ACTUALIDAD

Como parte de la Guía de Soluciones Tecnológicas para la Eficiencia de las EDAR se ha incluido un pequeño apartado dirigido a presentar soluciones innovadoras y nuevas tecnologías emergentes que están siendo investigadas, en desarrollo y en muchos casos aplicadas en experiencias piloto en el ámbito de las estaciones de tratamiento de aguas residuales.

No es el objetivo de la Guía profundizar en los aspectos más técnicos de cada solución innovadora planteada, si no con el fin de realizar una descripción básica de las nuevas soluciones que están siendo investigadas y puestas en práctica, facilitar documentación de referencia que poder consultar en caso de requerir un grado de profundidad mayor en la solución analizada.

Las soluciones contempladas están enfocadas a la aplicación de nuevas soluciones en los procesos de tratamiento de las EDAR que inciden positivamente en la eficiencia del proceso de depuración, y como derivada, en una reducción en el coste energético global del proceso.

3.1 MAXIMIZACIÓN CAPTURA DE SÓLIDOS Y MATERIA ORGÁNICA EN DECANTACIÓN PRIMARIA

Desde el punto de vista del aprovechamiento de la energía contenida en las aguas residuales, según la WERF (Water Environment Research Foundation), las investigaciones en curso, tienden a primar que se produzca la máxima desviación de carga orgánica de los tratamientos primarios hacia la digestión anaerobia. Las ventajas apuntadas para estas soluciones son, además de una mayor producción de gas en la digestión anaerobia, el ahorro de energía en los procesos de aireación aguas abajo.

El "Roadmap" de la WERF prevé incluso la inversión en procesos avanzados de decantación primaria, con ayuda de un proceso físico-químico y de aceleración con balastos.

Se están instalando y desarrollando tecnologías de decantación acelerada, laminar, con utilización de reactivos y recirculación de lodos o de arena micrométrica. Se trata de un proceso cuyas eficiencias se aproximan a las de un tratamiento secundario convencional (siempre que se cumplan determinadas condiciones) y que, por las elevadas velocidades de decantación permitidas (economías de espacios de implantación) y por la rapidez y facilidad de arranque y estabilización del proceso, están ganando relevancia en el tratamiento de caudales excedentarios en sistemas con elevada contribución pluvial.

3.2 TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS INNOVADORES

3.2.1 Tratamiento anaeróbico UASB

Los reactores UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) son un tipo de biorreactor tubular que operan en régimen continuo y en flujo ascendente. Se están adoptando en el tratamiento de aguas residuales urbanas, sobre todo en zonas de climas cálidos, debido a los bajos costos de inversión y explotación. Se comenzaron a desarrollar en los años setenta del siglo pasado con aplicación en el tratamiento de aguas residuales industriales, muy concentradas, inicialmente en la industria del azúcar, revelando ventajas en términos de baja producción de lodos, de reducido espacio de implantación, de bajo consumo energético y del consumo su potencial de producción de biogás. Estas ventajas han impulsado investigaciones para la aplicación de esta tecnología a aguas residuales urbanas en países tropicales como Brasil, Colombia e India.

Aunque esta tecnología no puede obtener por sí sola un efluente de calidad conforme a las exigencias de calidad de las descargas, permite eliminar una parte significativa de la carga orgánica con costos inferiores a los de las soluciones convencionales, pudiendo ser complementada con tratamientos de afinación.

Las limitaciones actuales de esta tecnología, que justifican la investigación en desarrollo, se refieren a las dificultades de su combinación con la eliminación de nutrientes y la cuantificación y el tratamiento de las emisiones de GEI que se asocian. Esta tecnología potencia también la formación de sulfuro de hidrógeno, con impactos en la seguridad del personal y de las instalaciones, de la corrosión de las estructuras y de la liberación de olores para los que se requieren medidas de mitigación.

3.2.2 Tratamiento de los licores sobrenadantes y de los filtrados del tratamiento de lodos

La concentración de amoníaco en los digestores tiene dos orígenes esenciales, el amoníaco presente en los lodos que entran en el digestor y el que resulta de la conversión de los sólidos volátiles durante la digestión. La concentración de amoníaco sube hasta alcanzar el equilibrio con la alcalinidad, con una relación, obtenida empíricamente, de 3,3 de CaCO_3 por 1 de amoníaco.

Los lodos pretratados con hidrólisis térmica entran en los digestores con concentraciones de sólidos que rondan el 11%, bastante más elevadas que los lodos espesados no sometidos a pretratamiento (que entran en la digestión con una concentración rondando del 4 al 6%). Esta mayor concentración, combinada con la mayor destrucción de volátiles, hace que la digestión de lodos pretratados con hidrólisis térmica tenga un

potencial de producción de amoníaco muy superior, con respecto a la solución convencional y, por lo tanto, la concentración de amoníaco en el "licor" sea bastante superior. Sin embargo, como los volúmenes de "licores" generados son inferiores, la carga total de amoníaco es similar a la producida en la digestión de lodos no sometidos a ese pretratamiento (Jolly et al., 2009).

El tratamiento de estos "licores" y filtrados, con oxidación del amoníaco en condiciones energéticamente muy favorables, antes de su retorno a la entrada de la depuradora, permite ahorros significativos en la energía de aireación de los reactores biológicos.

Este tratamiento se ha efectuado sobre la base de la utilización de procesos biológicos de bajo consumo energético. Estos procesos utilizan la bacteria ANAMOX, la cual oxida el amoníaco directamente a nitrógeno gaseoso, usando el nitrito como recetor de electrones, sin necesidad del sustrato de carbono requerido por los procesos convencionales de desnitrificación. La aplicación de este tratamiento se debate aún con dificultades asociadas al crecimiento de la bacteria ANAMOX, que es lenta, obligando a reactores de gran tamaño.

Las investigaciones recientes sugieren la posibilidad de que la bacteria ANAMOX pueda añadirse en copos más pesados, permitiendo su separación de los lodos y evitando su retirada del proceso en los lodos en exceso y, así, viabilizando soluciones para la acumulación de estos microorganismos en los reactores. Esta posibilidad podría permitir la utilización de esta bacteria en los procesos biológicos de eliminación de nutrientes, lo que se traducirá naturalmente en grandes ahorros de energía.

3.3 TRATAMIENTOS DE LODOS PREVIOS A LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA

La eficiencia de la digestión anaeróbica, tanto en términos de la reducción de sólidos volátiles, como en términos de la producción de biogás, puede mejorarse mediante la aplicación de pretratamiento en los lodos a digerir. La deshidratación de los lodos digeridos también mejora significativamente, debido a la reducción de su viscosidad, bajando el consumo de energía y de reactivos en la deshidratación y mejorando la concentración de los lodos deshidratados (menores emisiones de GEI en el transporte hasta la deposición final).

Estos pretratamientos, que provocan la ruptura de las moléculas y la solubilización de la materia, pueden ser aplicados usando las tecnologías indicadas en la Tabla, donde se indica también el número de instalaciones existentes a escala real en 2009, el año de la realización de los primeros ensayos, el año de la primera instalación a escala real, la reducción de sólidos volátiles conseguidos y el consumo específico de energía eléctrica.

Tabla 16. Tratamiento de lodos previos a la digestión anaerobia.

Proceso	Primeros ensayos	Primera instalación	Nº instalaciones	Reducción de Sólidos Volátiles [%]	Cons. Energía Eléctrica [kWh/tMS]
Hidrólisis térmica	1990	1996	24	60	310
Hidrólisis Enzimática	Años 90	2002	11	52	304
Hidrólisis ultrasonidos	Años 90	2000	>10	56	675
Hidrólisis imp. electr	2000	2007	1	56	407
Microlodos	2000	2004	3	59	555
Rotura celular	2004		0	52	204

La hidrólisis térmica, además de las ventajas arriba indicadas, propicia la obtención de biosólidos estabilizados, con características compatibles con su valorización agrícola (biosólidos de la clase A), lo que se traduce en una gran ventaja. La hidrólisis enzimática, que opera a temperaturas del orden de los 42°C, no aporta estas garantías. Los tratamientos por ultrasonidos y por presión precedida de debilitamiento de las paredes celulares (microlodos) sólo se aplican normalmente a lodos biológicos. Los tratamientos térmicos tienen la ventaja de poder utilizar calor producido en cogeneración, lo que puede ser importante si la producción de biogás en la instalación es suficiente, o si es económicamente viable su refuerzo con el uso de gas natural.

3.4 HIDRÓLISIS TÉRMICA DE LOS LODOS

Hasta finales de los años setenta, la aplicación de tratamientos térmicos a los lodos pretendía mejorar sus condiciones de deshidratación y el alcance de mejores sequedades de los lodos deshidratados. Más tarde comenzaron a investigar las mejoras de digestibilidad proporcionadas por los tratamientos térmicos, apuntando a la temperatura de 170°C como la ideal para estos tratamientos. A partir de los años ochenta, estos tratamientos térmicos comenzaron a ser abordados con un tercer objetivo, el de la pasteurización de los lodos. Las principales ventajas detectadas en la investigación de los tratamientos térmicos previos a la digestión anaeróbica de lodos son, fundamentalmente, las siguientes:

- Mejora de la biodegradabilidad de los lodos, con reducción de las necesidades de energía para el calentamiento de los digestores y aumento de la producción de biogás;
- Reducción de los impactos del retorno de los "licores" de la digestión en el proceso biológico del tratamiento de la fase líquida;
- Reducción de los compuestos odoríferos formados durante los tratamientos previos a la digestión.

A raíz de estas investigaciones se han patentado algunas tecnologías de tratamiento térmico de lodos (por ejemplo, Biothelys y Camby), basadas en la elevación de la temperatura y la presión de los lodos durante un determinado intervalo de tiempo. La hidrólisis térmica aumenta, a más del doble, la fracción rápidamente biodegradable de los sólidos volátiles presentes en los biosólidos, aumentando en un 30 a 60% la producción de biogás.

3.5 TRATAMIENTOS ELÉCTRICOS

Los tratamientos por pulsación de campos eléctricos que están siendo investigados y desarrollados promueven la solubilización de los lodos antes de su digestión y tienen como principal objetivo el aumento de la razón DQO soluble / DQO total y de la concentración de polímeros exacelulares (aumentos del orden de de 4,5 a 6 veces), a través de la rotura celular inducida por los impulsos de las descargas eléctricas. Estos tratamientos atacan directamente las membranas celulares.

Según algunos investigadores se hace referencia a los resultados de un estudio de aplicación de estos tratamientos a una mezcla de lodos primarios con lodos biológicos, utilizando resultados de laboratorio de aplicaciones sobre instalaciones piloto y sobre instalaciones a escala real. El tratamiento potenció la solubilización de la DQO y otros componentes de los lodos, resultando eficiente, tanto en las instalaciones piloto, como en las instalaciones a reales. Los principales beneficios evidenciados fueron una mayor degradación de la materia orgánica, una mayor producción de biogás y una menor producción de lodos digeridos a conducir el destino final.

3.6 PARÁMETROS DE CONTROL DE PROCESO DE AIREACIÓN DE REACTORES AERÓBICOS

Se están desarrollando tecnologías y herramientas innovadoras en el control de la aireación de reactores aeróbicos que no se limitan al control automático de los equipos de aireación en función de las concentraciones de oxígeno disuelto, resaltando las siguientes:

- a) Respirometría;
- b) Determinación del punto crítico de la concentración de oxígeno en los reactores biológicos, a través de los resultados de análisis de respirometría;
- c) Balance de oxígeno en los tanques de aireación.

No obstante, la respirometría tiene las siguientes limitaciones, que condicionan su utilización como sistema base para el control de los sistemas de aireación:

- Fiabilidad de los resultados analíticos de la respirometría;
- Difícil mantenimiento del equipo de muestreo en línea;
- Posible falta de representatividad de las muestras tomadas en línea.

El punto crítico de oxígeno es la concentración mínima de oxígeno capaz de crear el gradiente (entre el exterior y el interior de la pared celular) necesario para el paso de oxígeno necesario para los microorganismos. Este parámetro, evaluado en ensayos de respirometría, permite determinar el "setpoint" óptimo de la concentración de oxígeno disuelto, ya que por debajo del punto crítico la respiración es perturbada, mientras que por encima de este punto no se verifica un aumento de la tasa de degradación con el aumento de la concentración de oxígeno disuelto. Regulando el sistema de control para este "setpoint" se alcanzará la máxima eficiencia energética.

El balance de oxígeno alrededor de los reactores considera el oxígeno introducido en el reactor y el oxígeno que sale del reactor, liberado a través de la superficie libre. Esta metodología fue utilizada inicialmente para evaluar la eficiencia de sistemas de aireación, siendo recientemente objeto de revisión como proceso de control. Una forma de control que puede también presentar ventajas en términos de minimización del consumo en procesos de aireación es el control automático de la edad de lodos, permitiendo su minimización en valores compatibles con los objetivos del tratamiento.

A nivel del control de compresores de aireación, se observa actualmente una evolución del sistema tradicional de control, basado en la presión (los compresores arrancaban o aceleraban cuando la presión descendía por debajo de determinado valor, por el consumo de aire en la aireación, controlado por válvulas en función de la concentración de oxígeno disuelto), para un nuevo sistema en el que el funcionamiento de los compresores es controlado directamente por el caudal de aire que se solicita. Este sistema de control presenta las siguientes ventajas:

- elimina las oscilaciones cíclicas en los compresores y en los reactores asociados a la variación de la presión;
- minimiza las pérdidas de carga asociadas a las válvulas, ya que en las zonas de mayor consumo de aire, las válvulas estarán totalmente abiertas.

3.7 CONTROL DE PROCEDIMIENTOS DE AIREACIÓN POR PARÁMETROS DE AMONIACO, NITRATO Y NITRITO

Las bacterias responsables de los procesos de eliminación de nitrógeno presentan una elevada diversidad, la mayor parte soporta bien concentraciones de oxígeno disuelto cercanos a cero, pudiendo desarrollarse y convivir en condiciones de alternancia de aerobiosis con anoxia, proporcionando una optimización del metabolismo global de los microorganismos presentes en los reactores, con un mínimo de energía de aireación. Para esta optimización, el control automático tradicional en función de la concentración de oxígeno disuelto no es suficiente para alcanzar la máxima eficiencia y para aprovechar las zonas de transición aerobiosis / anoxia. Se están desarrollando sistemas de control que utilizan mediciones de otros parámetros como el amoníaco, el nitrato y el nitrito (procesos patentados Symbio & Bioprocess Intelligent Optimization - BIOS).

3.8 AGISTACIÓN DE REACTORES BIOLÓGICOS ANAERÓBICOS Y ANÓXICOS

Se están desarrollando dos tecnologías emergentes en el ámbito de la agitación / mezcla de reactores biológicos anaeróbicos y de reactores anóxicos:

- Mezcladores de perfil hiperbólico.
- Mezcla por aire pulsado de burbuja gruesa.

El primero, que cuenta ya con algunos casos de aplicación en Europa, Alemania, Holanda y Bélgica, y en la actualidad en aplicación de dos EDAR en los Estados Unidos de América, permite ahorros significativos de energía, en comparación con los agitadores sumergibles convencionales.

La agitación por aire difuso de burbujas gruesas es una tecnología patentada y se basa en la utilización de difusores diseñados para originar la liberación intermitente junto al fondo de los reactores de grandes burbujas de aire comprimido que, por efecto de la ascensión, promueven la agitación de la biomasa, sin transferencia de oxígeno del aire, pudiendo por lo tanto ser aplicado en reactores anaeróbicos y anóxicos.

3.9 SOLUCIONES DESCENTRALIZADAS

La Environmental Protection Agency (US EPA) está administrando un proyecto de investigación, denominado National Decentralized Water Resources Capacity Development Project (NDWRCDP), desarrollado por la Water Environment Research Foundation (WERF) y el Decentralized Water Resources Collaborative (DWRC), con el objetivo de desarrollar investigación en el ámbito de los sistemas descentralizados de aguas residuales y de drenaje pluvial. Dadas las fuertes interrelaciones entre el agua y la electricidad, el proyecto involucra también la cooperación del Electric Power Research Institute (EPRI).

Los sistemas descentralizados de tratamiento son sistemas generalmente de menor tamaño que los convencionales, dando servicio a viviendas individuales o conjuntos de viviendas, industrias o entidades institucionales, ubicados cerca de la generación de las aguas residuales.

En los Estados Unidos, zonas rurales y zonas de periferia de ciudades están adoptando cada vez más este tipo de solución para atender las necesidades de drenaje y tratamiento de aguas residuales, urbanas y pluviales. Se mencionan 20 casos de aplicación de soluciones descentralizadas ubicadas en los Estados Unidos y en Australia, concluyendo que estas soluciones son viables y sostenibles y que pueden ser usadas en conjunto con las soluciones centralizadas para una optimización procesal y energética global.

El concepto de sistema descentralizado integra los siguientes principios de concepción:

- Separación en el origen de aguas negras (heces y orinas) y de aguas grises, además de la separación de aguas pluviales;
- Recuperación de nutrientes en origen, principalmente a partir del tratamiento de las aguas negras;
- Reutilización de las aguas residuales tratadas en la agricultura urbana o en otros usos compatibles.

Existen casos de aplicación de este tipo de concepción de drenaje urbano en la reconstrucción de viejas ciudades y en la construcción de nuevas ciudades en Suecia y Holanda. En este sistema, el tratamiento de aguas negras es efectuado por procesos anaeróbicos, como fosas sépticas, o a través de procesos innovadores como:

- La eliminación de DQO y la recuperación de metano en reactores UASB;
- La precipitación del fósforo en forma de cristales de estruvita, utilizando magnesio como agente precipitante;
- La conversión de amoníaco a nitrógeno gaseoso (utilizando el nitrito como receptor de electrones) mediante procesos innovadores de bajo consumo de oxígeno y sin necesidad de fuente externa de carbono (CANON, ANAMOX, OLAND).

Las aguas grises se tratan en sistemas compactos de UASB / SBR o por lodos activados. Estas tecnologías se han aplicado, por ejemplo, en pequeñas áreas residenciales en Sneek, en el norte de Holanda.

Por tanto, se trata de un nuevo concepto de drenaje urbano que aprovecha las ventajas de los sistemas centralizados y los de los sistemas descentralizados, realizándose el tratamiento de las aguas negras de forma centralizada y el tratamiento y reutilización local de las aguas grises, de forma descentralizada.

De acuerdo con alguna de la bibliografía especializada, esta concepción híbrida permitirá reducciones significativas en el consumo de agua y de energía.

4 FUENTES Y REFERENCIAS

- Abadía Sánchez, R; Rocamora Osorio, MC; Ruiz Canales, A. (2008). Ahorro y Eficiencia Energética en las Comunidades de Regantes. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).
- González González, M.G; Elias, X. (2005). Tratamiento y valorización energética de residuos.
- Rosso D.; Stenstrom MK.; Larson LE. (2.008). Aeration of large-scale municipal wastewater treatment plants: state of the art.
- Åmand, L.; Olsson, G.; Carlsson, B. (2013). Aeration control - a review. *Water Science & Technology*, núm. 67(11), págs. 2.374-2.398.
- Bolinches Sánchez, S. (2017). Eficiencia energética, optimización de digestión anaerobia y revalorización de biogás en los procesos de depuración de aguas residuales
- Fernández González, J.; Gutiérrez Martín, F.; de Río González, P.; San Miguel Alfaro, G.; Bahillo Ruíz, J.M.; Ballesteros Perdices, M; Vázquez Minguela, J.A.; Rodríguez Antón, L.M.; Aracilmra, J. (2015) Tecnologías para el uso y transformación de biomasa energética
- VV.AA. (2012) Guía Técnica de Selección de Equipos de transporte de fluidos. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).
- Morenilla Martínez, J.J.; Bernacer Bonora, I; Santos Asensi, J.M.; Ignacio, Muñoz Robledillo; J. ; Funcionamiento del túnel de secado térmico de fangos de la EDAR de Ibi (Alicante)
- Elías, X. Secado y aprovechamiento energético de fangos de EDAR (2013) *Tecnoaqua n°1 pp34-44*
- Beltrán Calaff S.; Lizarralde Aguirrezabal I.; Ayesa Iturrate E.; Gorriti Cabrejas J. ; Ortega Conde F.; de la Sota A.; Villanueva del Casal J.M. (2014) Estimación del potencial de ahorro en los sistemas de aireación de las EDAR mediante la medición de la transferencia de oxígeno. *Tecnoaqua n°9 pp64-72*
- Albadalejo Ruiz A.; Martínez Muro J.L.; Santos Asensi J.M.; (2.015) Parametrización del consumo energético en las depuradoras de aguas residuales urbanas de la Comunidad Valenciana. *Tecnoaqua n°11 pp55-60*
- Simón Andreu P.; Lardín Mifsut C.; del Cacho Sanz C.; García Yuste M.; (2.015) Transferencia de oxígeno: evaluación rápida de la eficiencia de los sistemas de aireación. *Tecnoaqua n°15 pp92-101*
- Simón Andreu P.; Lardín Mifsut C.; Abellán Soler C. (2012) Optimización energética en EDAR de la Región de Murcia. *Ingeniería Civil n°168 pp93-112*

- Simón, P; Lardín, C; Abellán, M; Ponsoda, J.M. (2009). Limpieza con ácido fórmico de los difusores de membrana para la aireación de un proceso de fangos activos. *Tecnología del Agua*, nº 311, pp. 2-9.
- González González, M.G. ; Melián Navarro, A.; Molina-Martínez, V; Ruiz-Canales, A.; (2016) Medidas de ahorro y eficiencia energética de carácter innovador en estaciones depuradoras de aguas residuales. II Simposio Nacional de Ingeniería Hortícola (Almería, 10-12 de febrero de 2016)
- ABS. Manual de aireación ABS-Nopol.
- Grupo investigación Calagua. Control de los sistemas de aireación en EDAR
- Ferrer Torregrosa, C.; Olivas Masip, E.; Chiva Mengod, B.; Cabedo Oliver J.M.; García Ventoso, M.; Basiero Sichert, J.A.; Análisis energético de los procesos de una EDAR
- Simón Andréu P.; Lardín Mifsut C.; Vicente Sánchez Betrán, A.; González Herrero, R.; Morales Gómez, J.; Gambín Manzano, J.M.; Gaitx Altisen, M. (2016) Estudio comparativo de la transferencia de oxígeno en distintos sistemas de aireación en EDAR de la Región de Murcia. *Tecnoaqua nº21 pp58-62*
- Castell, D.; García Ventoso, M.; Tormos Fibla, I.; Ferrer, C.; Morenilla; J.J.; Bernacer, I.; Basiero, A. (2012) Optimización energética del sistema de aireación de una EDAR. Análisis comparativo de dos tecnologías. *Tecnología del agua nº327 pp 2-8*
- Morenilla, J.J. (2007). Sistemas de control y optimización del consumo energético en EDAR. En: XXV Curso sobre tratamiento de aguas residuales y explotación de estaciones depuradoras. Tomo III, pág. 34. Cedex, Madrid.
- Aguiló Martos, P.; Freixó Rey, A.; Estany Barrera; R. (2012) Codigestión en EDARs urbanas. Experiencias y suficiencia energética del proceso de tratamiento de lodos. *Ingeniería Civil nº168 pp113-119*
- Simón Andreu, P.J.; (2011) Ponencia: Digestión y aprovechamiento de biogás en EDAR de la región de Murcia. ESAMUR
- III Jornadas Técnicas de Gestión de Sistemas de Saneamiento de Aguas Residuales. Tratamiento y valorización de lodos. Experiencias con el secado solar de lodos de depuración en Canarias. Aplicación a la EDAR de Antigua, isla de Fuerteventura (Barcelona, 18 de octubre 2007)
- Muñoz Luque, P.; (2017) Ampliación y remodelación de la depuradora de Estepona. *Revista Técnica del Medio Ambiente nº202 pp66-74*

- **EPA: (2010) Evaluation of Energy Conservation Measures for Wastewater Treatment Facilities**
- www.circutor.es
- www.xylemwatersolutions.com
- www.schneider-electric.com
- www.aguas-residuales.es
- www.life-renewat.com
- www.life-siamec.eu
- www.lifecelsius.com
- www.ecodena.com
- www.acosol.es