

Optimización energética en EDAR de la Región de Murcia

PEDRO SIMÓN ANDREU (*), CARLOS LARDÍN MIFSUT (**) y MANUEL ABELLÁN SOLER (***)

RESUMEN Entre las funciones de la Entidad de Saneamiento y Depuración de la Región de Murcia (ESAMUR) se encuentra la gestión y mantenimiento de las instalaciones públicas de depuración, obteniendo calidades de agua compatibles con la normativa actual de reutilización de aguas residuales, y optimizando al mismo tiempo todos los procesos implicados en la depuración de las aguas. En este sentido, los costes de energía suponen aproximadamente un 35% de los costes totales de la explotación, por lo que se ha convertido en una de las prioridades de ESAMUR en estos años de gestión. Por un lado se ha constatado la necesidad de un adecuado diseño de las plantas para poder aspirar a conseguir unos ratios energéticos adecuados, y con respecto a la explotación se han modificado los criterios de funcionamiento de muchas EDAR, evaluando las necesidades de oxígeno del sistema, eficacias de transferencia de oxígeno desde la fase gaseosa a la fase líquida para minimizar las necesidades de aireación, presiones de suministro de aire, evitando sobreconsumos de energía para un mismo caudal de aire, sistemas de control de la aireación, implementando nuevos software de control del proceso, introduciendo equipos de mayor eficiencia, así como otras medidas de optimización de los procesos relacionados con la digestión anaerobia de los lodos y la producción de biogás, como la codigestión de sustratos y los pretratamientos para mejorar la fase de hidrólisis celular.

ENERGY OPTIMIZATION IN WWTP OF MURCIA REGION

ABSTRACT One of the main functions of Entidad de Saneamiento y Depuración de la Región de Murcia (ESAMUR), is the management and maintenance of public wastewater treatment plants (WWTP) in order to obtain good quality water in accordance with wastewater reuse regulations, and at the same time, enhance each process related to wastewater treatment. The energy costs are almost 35% of the global costs in WWTP and a reduction in these costs has been a priority for ESAMUR during the last few years. We know that good design of WWTP is fundamental to obtain suitable energy ratios, and we are changing much of the operational criteria, evaluating the minimum amount of oxygen required by bacteria, studying the best ways of transferring oxygen from the gas to liquid phases in order to minimize aeration requirements, reducing the pressure losses, consuming the minimum energy for supplying an amount of air; testing control systems to manage air consumption, changing blowers for others more efficient, and improving the process of anaerobic fermentation of sludge, increasing the production of biogas by means of co-digestion processes and pre-treatments for improving the hydrolysis step.

Palabras clave: EDAR, Consumo energía, Ratios energéticos, Eficacias de aireación, Transferencia de oxígeno, Aireadores, Digestión anaerobia, Codigestión.

Keywords: WWTP, Power consumption, Energy ratios, Aeration efficiencies, Transfer of oxygen, Blowers, Anaerobic digestion, Co-digestion.

1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA RECIENTE DE LOS CONSUMOS DE ENERGÍA EN LAS EDAR DE LA REGIÓN DE MURCIA

1.1. TIPOLOGÍA DE LAS EDAR Y RESULTADOS DE DEPURACIÓN

Antes del año 2000, la mayoría de las EDAR de la Región eran de tipo lagunaje o estaban obsoletas, es a partir de dicho año cuando comienza la ejecución del Plan Director de Saneamiento, que ha modificado totalmente la situación de la depuración en la Región.

En la actualidad se dispone de 90 depuradoras municipales que dan servicio a la totalidad de la Región, con un porcentaje superior al 97% en cuanto a población atendida. El caudal tratado es superior a los 110 Hm³ al año. En su mayor parte, el sistema de tratamiento es el de fangos activos en aireación prolongada, con eliminación de nitrógeno prácticamente en su totalidad. En la Figura 1 podemos ver la tipología de las EDAR en la Región.

Tipología de la depuración de aguas en Murcia	Nº de instalaciones
Depuración Biológica	37
Depuración Biológica con tratamiento terciario	52
Plantas de Lagunaje	1
Total EDAR	90

TABLA 1. Número y tipologías de EDAR en la Región de Murcia.

(*) Ingeniero Industrial. Director Técnico. Entidad de Saneamiento y Depuración de la Región de Murcia (ESAMUR). C/ Madre Paula Gil Cano, nº 2. Edif. Torre Jemeca, 9º Planta. Email: pedro.simon@esamur.com.

(**) Licenciado en Biología. Responsable explotación Zona II. Entidad de Saneamiento y Depuración de la Región de Murcia (ESAMUR). C/ Madre Paula Gil Cano, nº 2. Edif. Torre Jemeca, 9º Planta. Email: carlos.lardin@esamur.com.

(***) Ingeniero Agrónomo. Responsable explotación Zona I. Entidad de Saneamiento y Depuración de la Región de Murcia (ESAMUR). C/ Madre Paula Gil Cano, nº 2. Edif. Torre Jemeca, 9º Planta. Email: manuel.abellan@esamur.com.

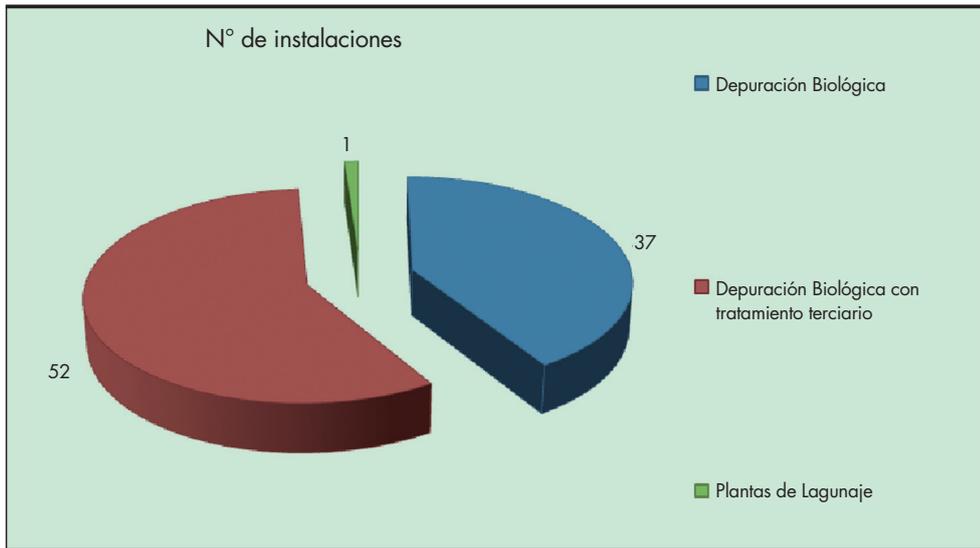


FIGURA 1. Tipología de EDAR en la Región de Murcia.

El sistema de depuración por aireación prolongada es un sistema que consigue excelentes rendimientos de depuración y que tiene una gran robustez en la operación, así como gran capacidad de respuesta ante vertidos industriales, lo que le confiere una gran fiabilidad, aspecto fundamental en una zona en que, debido a los bajos caudales circulantes cualquier posible fallo en una EDAR tendría repercusión inmediata y grave en el medio ambiente. Además, debido a la escasez de agua en la Región, es un aspecto primordial la reutilización en regadío del agua depurada, por lo que como se ve en la Figura 1, hasta 52 EDAR cuentan con tratamientos terciarios avanzados, y se sigue trabajando para llegar a la totalidad.

Los resultados medios de depuración de las EDAR de la Región son los mostrados en la Figura 2.

1.2. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CONSUMOS DE ENERGÍA

Los consumos totales eléctricos de las instalaciones de depuración presentes en cada uno de los años desde 2003 hasta 2011 se pueden ver en la Figura 3.

Con respecto a la evolución de los ratios, así como del valor de los mismos, podemos comentar que la progresiva puesta en servicio de nuevas EDAR, que sustituían a EDAR de tecnologías blandas u obsoletas, ha hecho que fuera incrementándose el ratio eléctrico hasta llegar a 0,65 kWh/m³ en el año 2008. A partir de ese año, y pese a que ha entrado en servicio alguna planta nueva, y otras se han ido dotando de tratamientos terciarios, el ratio ha disminuido significativamente hasta llegar a un valor de 0,55 kWh/m³. Al considerar este ratio, hay que tener en cuenta que las plantas de aireación prolongada tienen consumos energéticos mayores significativamente que los sistemas de fangos activos convencionales, así como que la media de la DBO₅ de entrada a las plantas de la Región es de 372 mg/l. También hay que tener en cuenta que la mayoría de las plantas contemplan la eliminación de nitrógeno, lo que conlleva un consumo extra de energía, así como que en su mayor parte están dotadas de tratamiento terciario.

Por otra parte, se ha producido en los últimos años un incremento en los precios de la energía, lo cual ha supuesto una

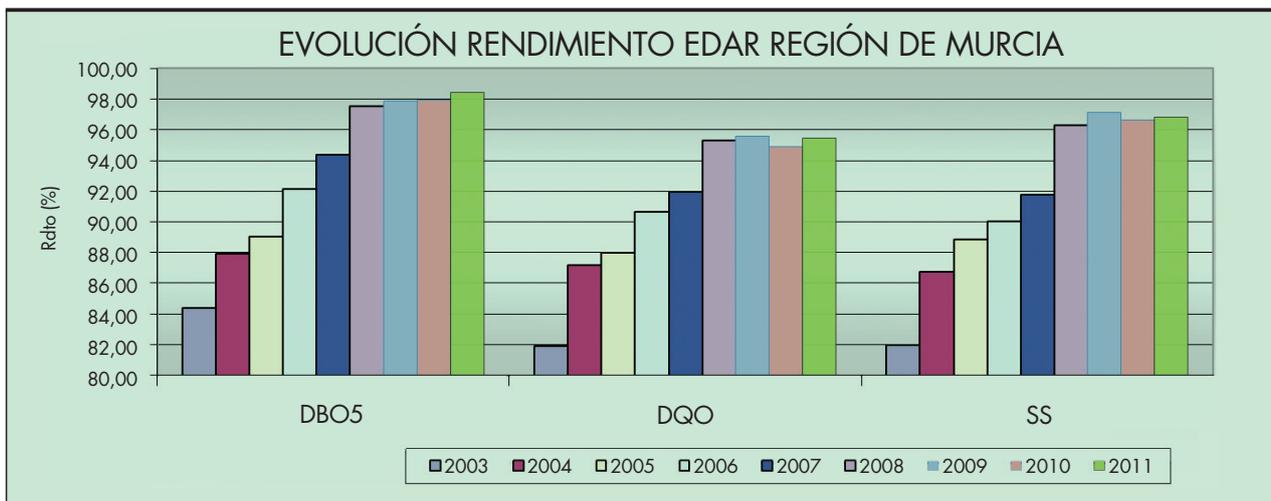


FIGURA 2. Histórico rendimientos SS, DBO₅, y DQO.

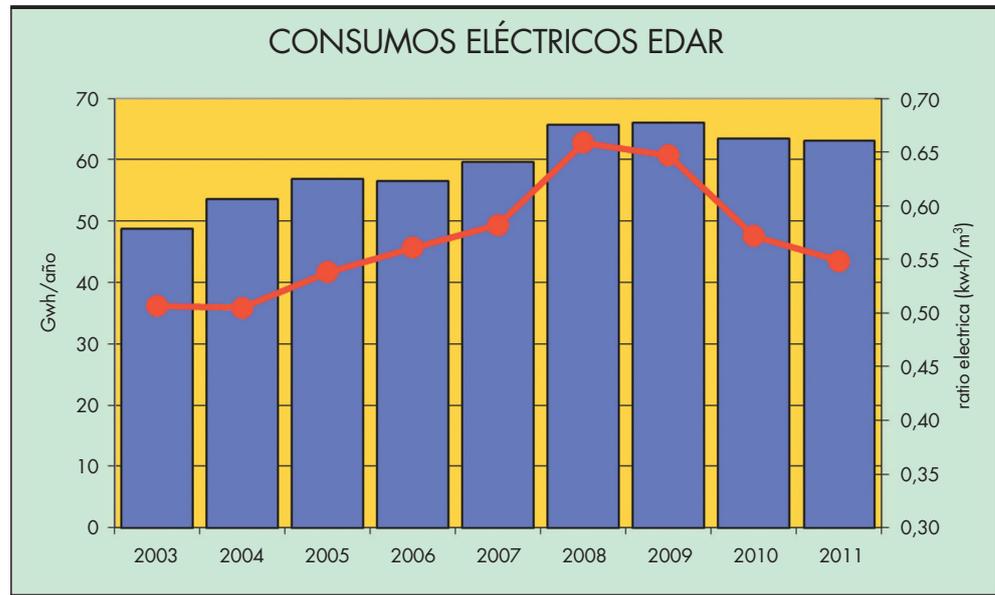


FIGURA 3. Consumos de energía.

subida importante de los costes de explotación. En la Figura 4 podemos ver la evolución del precio de la electricidad para consumidores industriales, según EUROSTAT, en los últimos años, tanto para España como para otros países del entorno.

Esto ha llevado a que, mientras que el consumo energético suponía un 21% de los costes de depuración en 2004, en el año de 2011 llega hasta el 29%. Dado que es una importante partida dentro de los costes de explotación y que, previsiblemente, van a seguir subiendo los costes de la energía, es del máximo interés optimizar los consumos, para lo cual pueden ser útiles las experiencias recogidas en los siguientes apartados.

2. PRINCIPALES VARIABLES QUE AFECTAN AL CONSUMO ENERGÉTICO

En términos globales se puede considerar que para un sistema de tratamiento determinado y una características del agua de entrada, la demanda de consumo de energía eléctrica es fija (energía mínima necesaria), no obstante existen otros condicionantes que gravan esta línea base de consumo energético,

como son: diseño de la instalación y sus equipos electromecánicos, el criterio de operación seleccionado por el explotador de la EDAR, el correcto mantenimiento de los equipos de la depuradora, y los sistemas de control implementados.

En este trabajo se realiza, en base a la experiencia adquirida en los 10 años de gestión de ESAMUR, una breve reseña de los puntos mencionados para que puedan ayudar a minimizar la discrepancia entre la demanda de energía necesaria para alcanzar los objetivos de calidad exigidos y el consumo real de energía, que debe de ser el objetivo para la correcta gestión de una instalación de depuración.

2.1. DISEÑO DE LAS INSTALACIONES DE DEPURACIÓN

El diseño de las instalaciones marca, desde la redacción del proyecto de construcción, la capacidad de optimización en la fase de operación ya que si bien es cierto que los cálculos de diseño deben recoger aspectos fundamentales como el crecimiento progresivo de la carga a tratar, o los coeficientes de seguridad necesarios para hacer frente a puntas de carga puntuales, el sobredimensionamiento existente en algunas EDAR

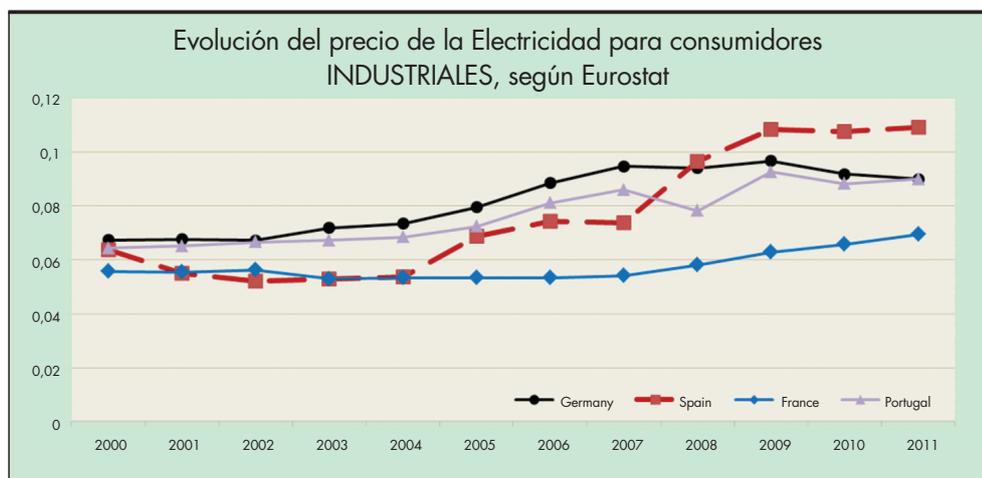


FIGURA 4. Evolución de precios industriales de la energía eléctrica, fuente Eurostat.

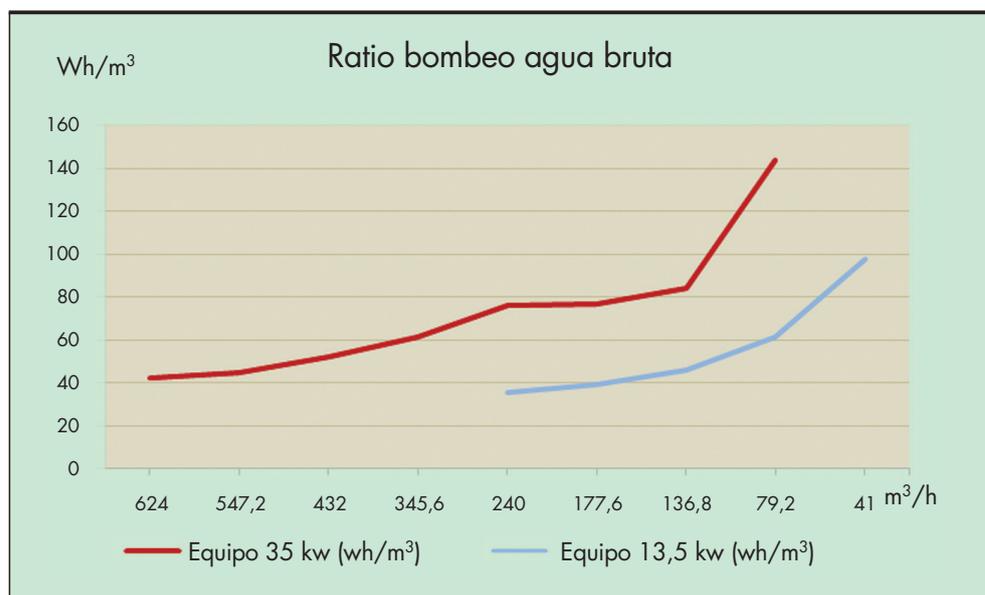


FIGURA 5. Rendimiento de dos bombas en función del caudal impulsado.

no permite alcanzar el mínimo consumo energético requerido. En este sentido, son varios los factores a tener en cuenta en la fase de diseño de la instalación:

- **Adecuación de la capacidad de los equipos a la demanda real del sistema**

Es habitual encontrarnos depuradoras cuyo caudal de diseño se encuentra por encima del caudal real por lo que los equipos que fueron implementados, tanto de trasiego del agua residual como de aireación, operan con unas cargas de trabajo inferiores a las de diseño, siendo su rendimiento menor en estos casos. Además, uno de los hitos asociados a la optimización de las instalaciones de depuración y que es difícil de conseguir con equipos sobredimensionados es la laminación de caudales, porque de esto dependerá el correcto funcionamiento de los procesos de una EDAR (pretratamiento, tratamiento biológico y aireación, decantación, filtración, desinfección,...). Sirva de ejemplo el caso que se muestra en la Figura 5, donde se representa 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); nótese la diferencia de rendimiento entre ambos equipos en el rango de caudales seleccionado por la explotación (200-240 m³/h) para laminar el caudal y optimizar los procesos posteriores, lo que hace amortizable rápidamente el suministro del nuevo equipo de menor potencia.

Por lo expuesto, habría que considerar el diseño de las instalaciones de bombeo con equipos de potencia escalonada para abarcar los caudales punta esperados al mismo tiempo que conseguimos optimizar el consumo energético diario, por operar con equipos de menor potencia que trabajan en su punto óptimo de funcionamiento.

Cabe destacar como ejemplo también que la incorporación de equipos de aireación acordes a la demandas reales de algunas instalaciones han supuesto sustanciales ahorros energéticos, derivados de la mayor eficiencia a la hora de suministrar la cantidad de oxígeno necesario (Kg O₂) con un menor volumen de aire, ya que en contra de lo que cabría esperar las horas de funcionamiento de las soplantes no se han incrementado con respecto a los equipos anteriormente instalados.

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.

- **Modularidad de la instalación**

Aunque puede suponer un mayor coste en fase de construcción, y al igual que en el apartado anterior, es conveniente disponer de varios equipos de menor potencia que nos permita adecuarnos a la variabilidad de la carga de entrada, antes que tener un único equipo de mayor potencia cuya capacidad cubra las necesidades globales de la instalación, ya que durante la larga fase de explotación este "sobrecoste" va a ser ampliamente amortizado.

En este punto podemos destacar como ejemplo las instalaciones de desodorización, que si bien no son de los procesos de mayor consumo de la instalación si que hay que tenerlos en cuenta cuando evaluamos su coste de explotación anual. Por tanto, no sería recomendable la implantación de un único ventilador que abarque la extracción de aire de los edificios de pretratamiento, deshidratación, espesador de fangos y tolva de almacenamiento, sino disponer de un equipo de menor potencia para cada edificio, pudiendo conectarlos según la demanda del proceso.

Extrapolable es el ejemplo a las líneas de tratamiento biológico, siendo conveniente que el diseño contemple la construcción de varias líneas, incluso alguna de menor tamaño que el resto, para poder amoldar el número de las mismas, y los equipos electromecánicos, a las características de la carga de entrada.

- **Sistemas de distribución de aire en los procesos biológicos**

Para minimizar el caudal de aire que debemos aportar a un proceso biológico manteniendo la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos, nos fijaremos en el valor del SOTE (%) que relaciona para aguas limpias los kgO₂ que son transferidos a la masa de agua por kgO₂ que es alimentado a los difusores.

Dado que el valor del SOTE depende fundamentalmente del caudal de aire alimentado a cada difusor (Nm³/h) y que a

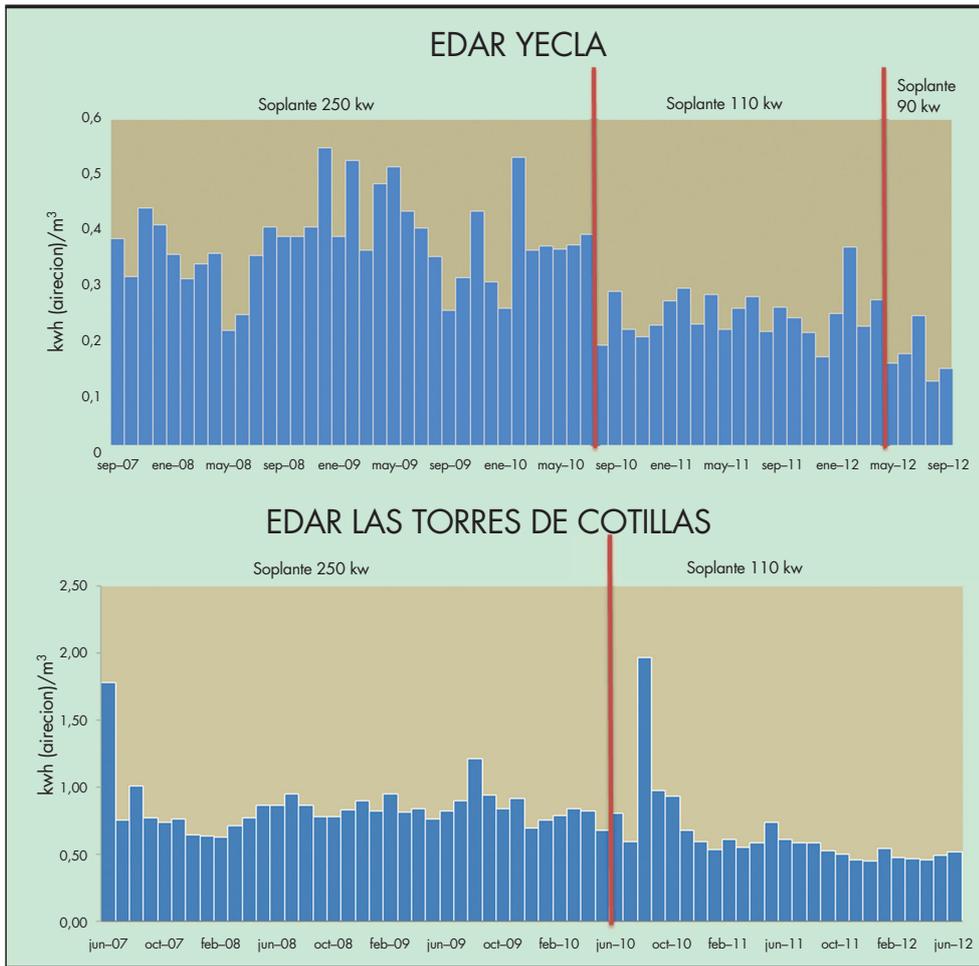


FIGURA 6. Sustitución equipos de aireación en dos EDAR.

medida que aumenta el caudal de aire alimentado a cada difusor disminuye el valor de la eficacia de transferencia (burbuja más gruesa y mayor pérdida de carga) nos interesa disponer de un amplio número de difusores en los reactores biológicos para operar en condiciones medias en torno a los 1,5-2 Nm³/h por difusor.

• **Selección de materiales**

Al igual que en cualquier proceso industrial es conveniente adecuar los materiales de los equipos a las condiciones ambientales y a las características del producto con el que se va a trabajar, más si cabe en el proceso de depuración donde la presencia de agua, terrenos y gases agresivos deterioran de



FIGURA 7. Detalle de: Varias líneas de tratamiento biológico (izq.); equipos de extracción de aire viciado de diversas potencias (drcha.)

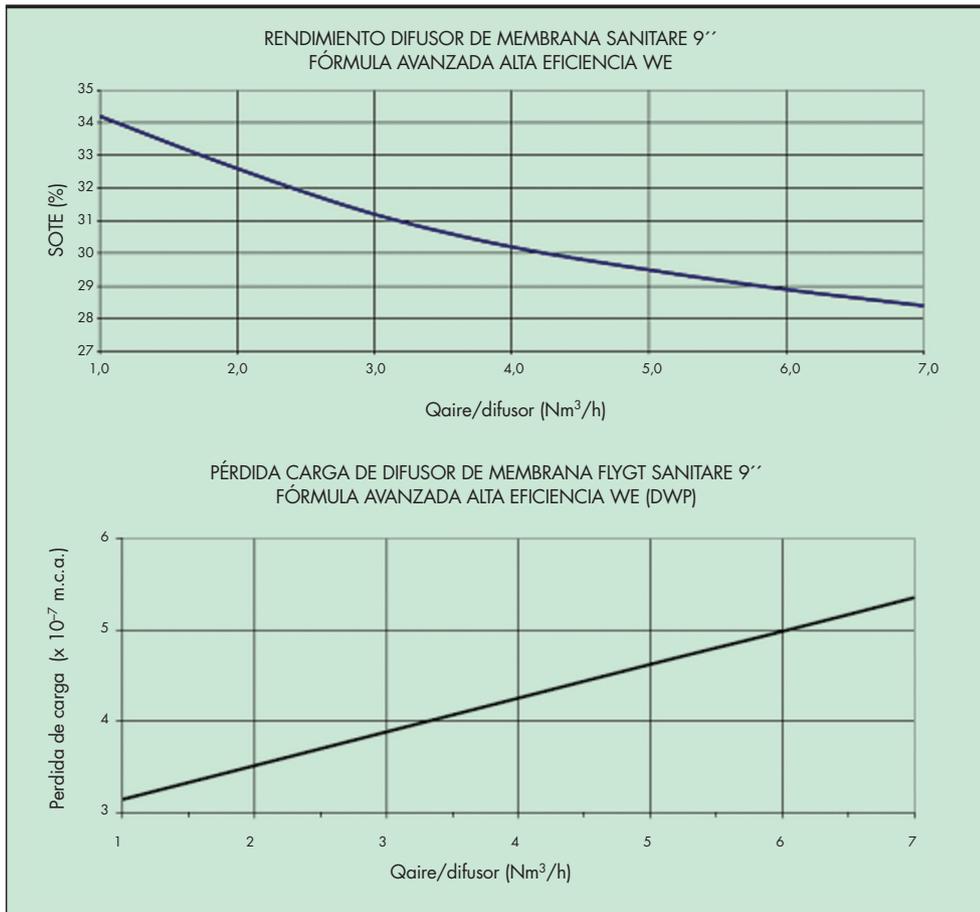


FIGURA 8. Variación del %SOTE en función del caudal de aire por difusor (arriba). Relación entre la pérdida de carga en difusores con respecto al caudal de aire por difusor (abajo).

forma prematura los equipos de la instalación, reduciendo su rendimiento y gravando el consumo energético de la instalación.

2.2. OPERACIÓN DE LA EDAR

El primer esfuerzo para optimizar la aireación de una EDAR debe ser, por ser éste el proceso con mayor demanda de energía eléctrica de una depuradora, la minimización de los re-

querimientos de oxígeno de los microorganismos. Cabe mencionar que los requerimientos de oxígeno por parte de los microorganismos son la suma de los requerimientos para los procesos de síntesis (función de la materia orgánica del agua residual), requerimientos de oxígeno para la eliminación de la materia nitrogenada (función de la concentración de nitrógeno del agua residual) y los requerimientos de oxígeno para los procesos de respiración endógena. Como los dos primeros factores



FIGURA 9. Detalle de conducciones dañadas. Disminución rendimiento hidráulico (izq.) y reducción eficiencia aireación (drcha.)

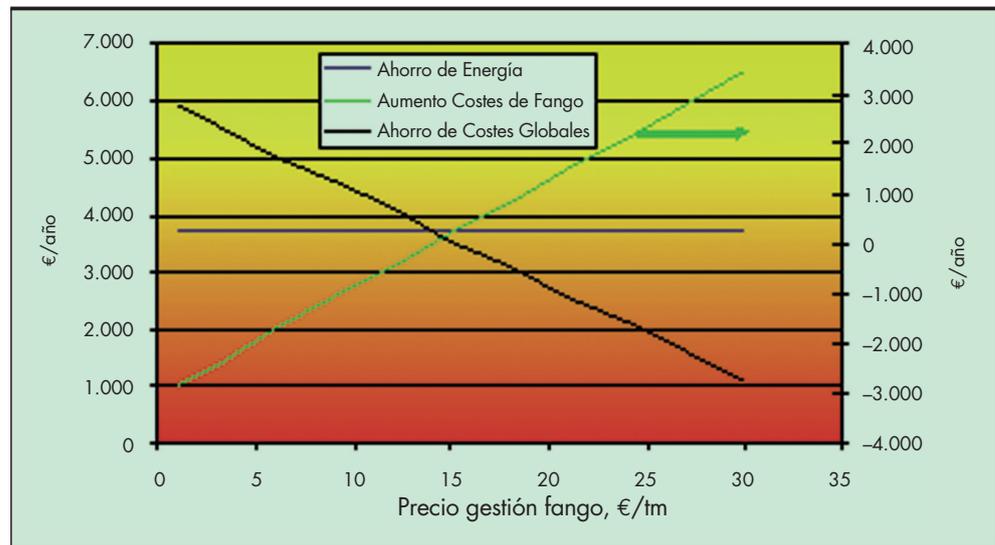


FIGURA 10. Efecto del precio de gestión de fangos sobre el ahorro de costes modulando la Edad del Fango en función de la Tª.

son consecuencia de las características del agua de entrada, sobre la cual el explotador no tiene capacidad de actuación, nos centraremos, a fin de minimizar los requerimientos de oxígeno, en los consumos de la respiración endógena, y esto se consigue modulando la Edad del Fango de trabajo, o lo que es lo mismo, la concentración de sólidos del reactor biológico.

• **Parámetros de operación (edad del fango)**

En algunas EDAR de aireación prolongada, donde se produce de forma simultánea la eliminación de materia carbonosa, nutrientes y la estabilización parcial de los lodos, los operadores fijan una concentración de fango activo y una edad del fango constante independientemente de la temperatura del reactor biológico. En otras instalaciones por el contrario se adecúa la biomasa en función de la temperatura, donde la concentración de sólidos en el interior del reactor biológico desciende a medida que aumenta la temperatura, reduciéndose los consumos de la respiración endógena y por ende los consumos globales de energía, e incrementándose obviamente la producción de fangos.

Por lo expuesto, la idoneidad de operar a una edad de fango fija o variable dependerá de cada instalación, y será función del coste de la energía eléctrica y la gestión de fangos. No obstante, y en base a nuestra experiencia y los estudios realizados, podemos determinar que siempre y cuando el precio de la gestión de fango sea inferior a unos 15 €/t será adecuado trabajar con una edad del fango función de la temperatura, en el caso contrario será conveniente trabajar con una concentración de fangos fija, independientemente de la temperatura (Figura 10).

• **Líneas en funcionamiento**

Tras la correcta gestión del proceso biológico de una EDAR y una vez se consigue minimizar los requerimientos de oxígeno para que los microorganismos depuren correctamente el agua residual y consigan la correcta estabilización del fango, el siguiente paso es minimizar el caudal de aire que hay que suministrar al sistema para que los microorganismos tengan accesible la cantidad de oxígeno requerida.

En caso de que haya varias líneas de tratamiento biológico disponibles, en muchas ocasiones es preferible utilizarlas

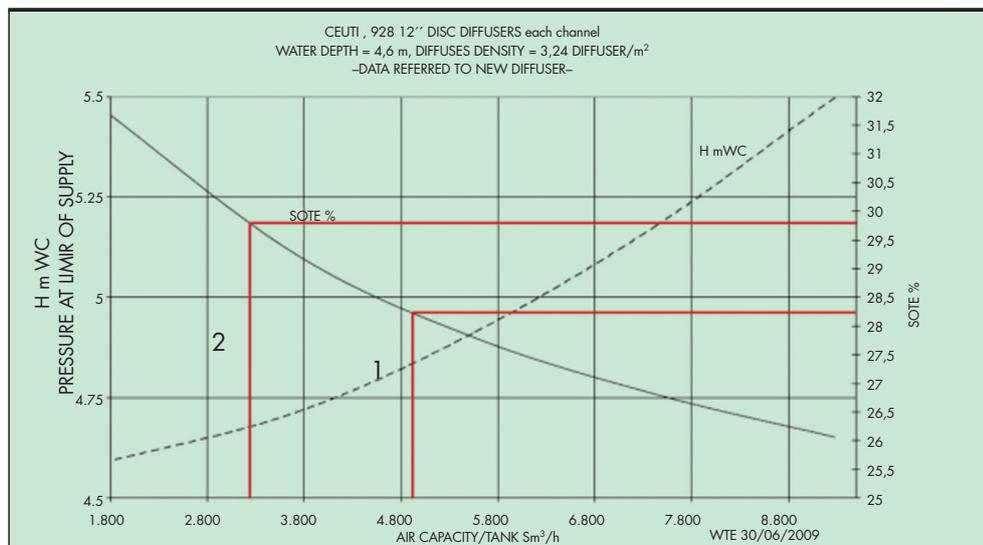


FIGURA 11. Variación del porcentaje de transferencia de oxígeno (%SOTE) con respecto al caudal de aire suministrado en EDAR Ceutí. 1:1 reactor biológico, soplante 50 Hz; 2:1 reactor biológico, soplante 33 Hz.

TABLA 2. Relación entre la concentración de SSLM y el factor alfa (α).

	Número de Reactores						
	2	3	4	5	6	7	8
SSLM (mg/l)	4.000,0	2.666,7	2.000,0	1.600,0	1.333,3	1.142,9	1.000,0
Factor alfa (α)	0,73	0,81	0,85	0,88	0,90	0,91	0,92

aunque no sea estrictamente necesario ya que, por una parte el empleo de mayor número de difusores así lo aconsejaría, y por otra la distribución de la biomasa (Kg. SSLM) requerida para llevar a cabo el proceso de depuración en varias líneas supondrá una menor concentración de bacterias (g/l SSLM) en cada reactor biológico, lo que influirá positivamente en el factor alfa (α), que relaciona la transferencia de oxígeno en el fango activado y la transferencia en agua destilada. En la tabla podemos apreciar este efecto.

No obstante, y desde un punto de vista de optimización energética, para evaluar la conveniencia de trabajar con más o menos líneas habrá que tener en cuenta el consumo de los aceleradores de corriente implicados en tal caso.

2.3. MANTENIMIENTO DE EQUIPOS E INSTALACIONES

A lo largo de su ciclo de vida útil el rendimiento de cualquier equipo o elemento de una depuradora se reduce debido a su deterioro por desgastes mecánicos, fenómenos de oxidación, incrustaciones inorgánicas y/u orgánicas, etc... En este apartado intentaremos plasmar la influencia tan determinante que el mantenimiento de los equipos e instalaciones tienen sobre el correcto funcionamiento de los procesos de la EDAR, y sobre su capacidad de optimización energética.

Como hemos comentado con anterioridad, los consumos energéticos más importantes de una depuradora provienen de la gestión del proceso biológico, suponiendo entre el 50–60% del consumo eléctrico total de la instalación, por ello es esencial que los equipos de suministro y los elementos de distribución de aire se encuentren perfectamente mantenidos, además, la mayor parte de los sistemas de aireación están compuestos por soplantes y difusores de membrana, siendo fundamental para este tipo de sistemas controlar adecuadamente la pérdida de carga de los difusores (ésta aumenta con el grado de ensuciamiento de los mismos) para que la pérdida de carga del sistema de aireación sea lo mínimo posible.

Por lo expuesto, exponemos los resultados de nuestra experiencia en la limpieza de los difusores de membrana por medio de un ácido débil y altamente biodegradable como es el ácido fórmico (5 g/difusor y aplicación), que denominaremos

limpieza química “in situ”, midiendo la variación de la presión en la línea, que es directamente proporcional al consumo específico de las soplantes si consideramos un caudal de aire constante.

Valorando el efecto de la limpieza química “in situ” de los difusores sobre el consumo energético del sistema de aireación, ésta se presenta como una excelente alternativa a la limpieza mecánica de los mismos, también desde un punto de vista puramente operacional, dada su mayor sencillez y rapidez.

Asimismo, evaluando la evolución de las presiones obtenidas tras las limpiezas químicas “in situ” podremos determinar la vida útil de las membranas y estudiar el momento óptimo para proceder a su renovación, sopesando el coste de instalar nuevas membranas con el ahorro energético que se obtendría.

Otro ejemplo en este sentido sería la limpieza de las camisas de cuarzo de las lámparas de desinfección U.V. El sistema de limpieza automático (limpieza mecánica y química) que presentan algunos equipos de desinfección debe ser imprescindible en cualquier equipo de estas características ya que además de optimizarse la dosis U.V., evitamos los riesgos derivados de la manipulación de unos equipos extremadamente frágiles.

Para finalizar este apartado no podemos obviar la gran importancia que un buen mantenimiento preventivo de los equipos electromecánicos tiene sobre el rendimiento de los mismos y por ende en el consumo energético de la instalación. Como se muestra en la Figura 12, una bomba de agua residual presenta una rápida pérdida de rendimiento (entre un 10–15%) debido a holguras y desgastes inherentes a su funcionamiento y al fluido que tiene que trasegar. La actuación sobre los elementos de desgaste puede ayudar a recuperar el rendimiento hidráulico de la bomba y al mismo tiempo mantener su disponibilidad, evitando averías que dejen fuera de servicio equipos críticos. Cabría pensar que estas actuaciones suponen un desembolso económico de forma periódica, sin embargo, a largo plazo, el importe derivado de actuaciones correctivas y la menor eficiencia del equipo hacen interesante mantener un esfuerzo preventivo sobre los equipos de bombeo.

Parámetro	EDAR 1	EDAR 2	EDAR 3	EDAR 4	EDAR 5
Perdida de carga Inicial, Bar	0,589	0,572	0,588	0,591	0,460
Perdida de carga Final, Bar	0,530	0,524	0,513	0,537	0,429
Reducción Pérdida de Carga, %	10,02	8,53	12,70	9,06	6,74
Consumo Inicial, kw	91,0	89,7	65,0	207,0	56,6
Consumo Final, kw	84,2	80,2	57,0	187,0	52,1
Reducción de consumo de Energía	7,47	10,59	12,31	9,66	7,95

TABLA 3. Efecto de la dosificación de ácido fórmico sobre el proceso de aireación.

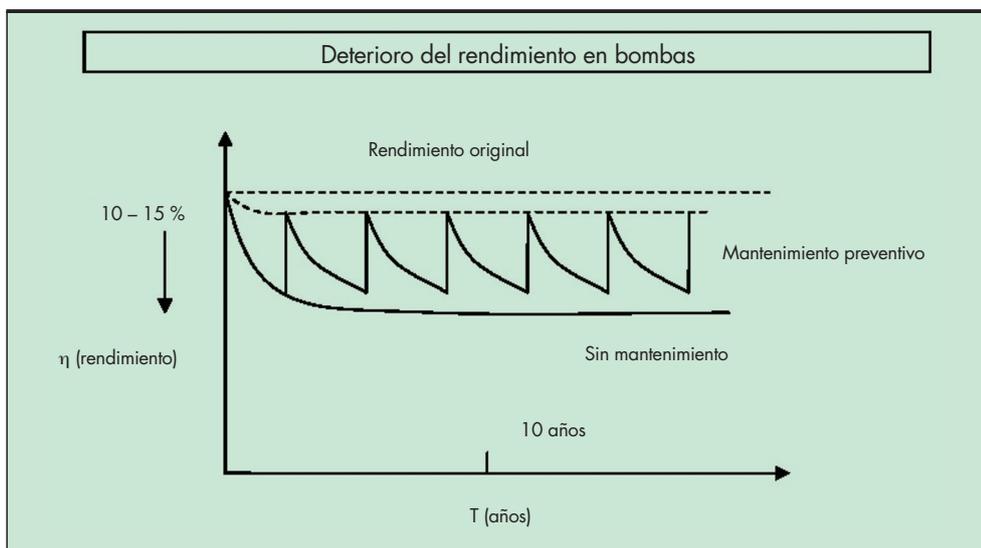


FIGURA 12. Efecto del mantenimiento preventivo sobre el rendimiento de los equipos.

2.4. NUEVOS SISTEMAS DE CONTROL

El sistema de control que se implante en una EDAR va a tener una influencia decisiva tanto en el aseguramiento de la calidad del agua obtenida como en la eficiencia energética, ya que una de sus funciones primordiales va a ser controlar cuando deben estar en marcha los equipos de aireación.

La evolución en el control de las EDAR de la Región de Murcia ha ido desde las primeras, que se basaban en temporizaciones de marcha y paro de los equipos, pasando por el control por oxígeno y posteriormente mediante redox, hasta la actualidad en que con las nuevas exigencias de calidad de agua (especialmente en eliminación de nutrientes) y la aparición de sondas fiables y a coste asequible de amonio, nitratos y fósforo, se han podido implantar sistemas mucho más complejos y potentes.

A continuación se van a describir brevemente estos nuevos sistemas de control, y algún caso concreto de resultados obtenidos, a título de ejemplo. No obstante estos resultados hay que tomarlos con precaución, dado que es muy difícil aislar el efecto únicamente de los sistemas de control en una disminución de ratio energético puesto que, además de que es difícil que no haya variaciones en caudal o carga contaminante en los períodos de comparación, pueden solaparse con mejoras llevadas a cabo en los modos de explotación, incorporación de nuevos equipos más eficientes, etc.

PLATAFORMA ATL_EDAR

Este sistema de control parte de una base sobre la que se pueden instalar diferentes módulos de control: módulo de control de la aireación para optimizar la eliminación de nutrientes, módulo de control de la edad de fango, módulo de control del funcionamiento y mantenimiento de los equipos, etc.

Los que tenemos operativos en la actualidad, llevan instalados 2 módulos; Nutrien y TRC, que controlan la aireación de la planta y la purga.

El módulo Nutrien arranca o para la aireación del biológico para mantener una concentración de $N-NH_4$, ya sea media diaria de $N-NH_4$ o por debajo del valor máximo de consigna, X mg/l. El sistema necesita de sonda de medición en continuo de amonio.

Además, este módulo, puede desplazar los ciclos de aireación dentro de las 24 horas del día para evitar, dentro de lo posible, airear en franja horaria donde el coste del kwh es ele-

vado, arrancando la soplante más tiempo en periodos de tarifa más económica, todo esto de forma automática.

Cuando se funciona por media diaria, si bien puntualmente la concentración de $N-NH_4$ puede superar los X mg/l consigna, la media diaria se mantiene por debajo de dicha consigna, no pudiendo superar nunca el límite diario máximo de otra consigna Y mg/l. La consigna X e Y pueden ser la misma.

Cuando está aireando, se regulan los hervidos de la soplante para mantener una concentración de oxígeno consigna, Z ppm.

Dispone de unos tiempos máximos y mínimos de nitrificación y desnitrificación que cumplen siempre, a no ser que el $N-NH_4$ se acerque a su consigna máxima.

El programa utiliza la sonda redox para añadir un tiempo de desfosfatación como porcentaje del tiempo total del ciclo de nitrificación-desnitrificación.

En la Gráfica 13 se pueden ver los ciclos que genera el sistema, así como los valores de los principales parámetros sobre los que toma decisiones, como son el $N-NH_4$, potencial redox, oxígeno disuelto, etc.

El módulo TRC es el que modifica la temporización de la purga que recoge del scada. Dispone de 2 opciones, consigna de TRC a mantener o consigna de SSLM a mantener. En ambos casos se introduce los resultados de los sólidos tanto del biológico como de la recirculación y la temperatura del biológico diariamente. Las modificaciones de la purga las hace normalmente cada 7 días (el programador se adapta al requerimiento del explotador). Sube o baja el caudal de excesos, en caso de que la media de los SSLM de los últimos 15 días sea mayor o menor del 10% de los SSLM consigna.

Como puede apreciarse en la Figura 14 de evolución mensual, la tendencia de los ratios eléctricos es descendente, así como, el consumo eléctrico. Ambas instalaciones están muy influenciadas por la recepción de vertidos industriales muy cargados, procedentes de la industria conservera, cuando suceden, aumentan considerablemente los consumos eléctricos y el ratio.

Como ejemplo, una de las instalaciones en que está implantado, la EDAR de Caravaca, que presenta una mayor estabilidad de carga de entrada, se ha conseguido mantener constante el ratio eléctrico entre 0,55-0,60 kwh/m³, además de reducir el importe de las facturas eléctricas al desplazar un porcentaje del consumo del periodo punta a periodos de tarificación más económica.

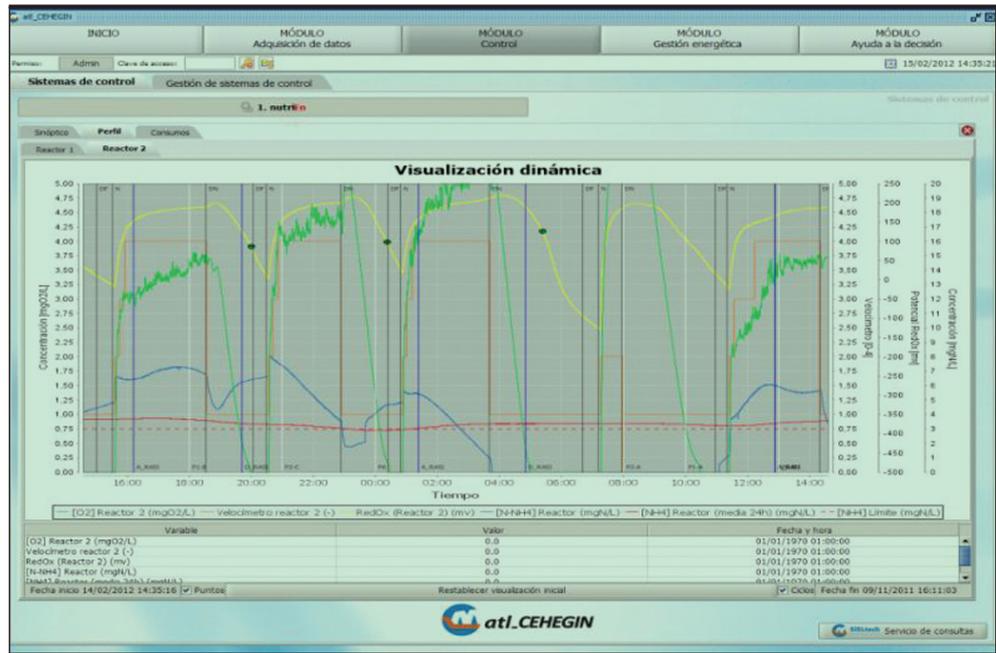


FIGURA 13. Gráficos de evolución de parámetros y ciclos del Sistema ATL.

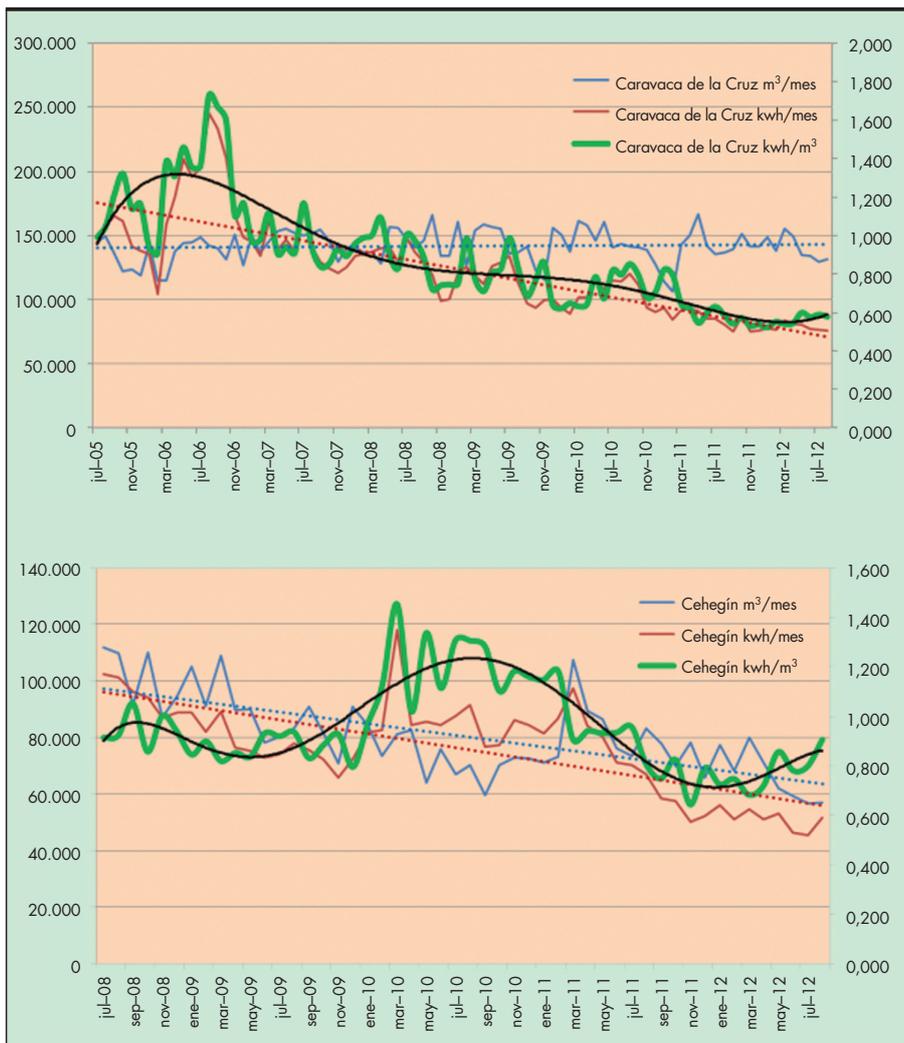


FIGURA 14. Gráficos de evolución del ratio eléctrico, EDAR de Caravaca de la Cruz y Cehegín

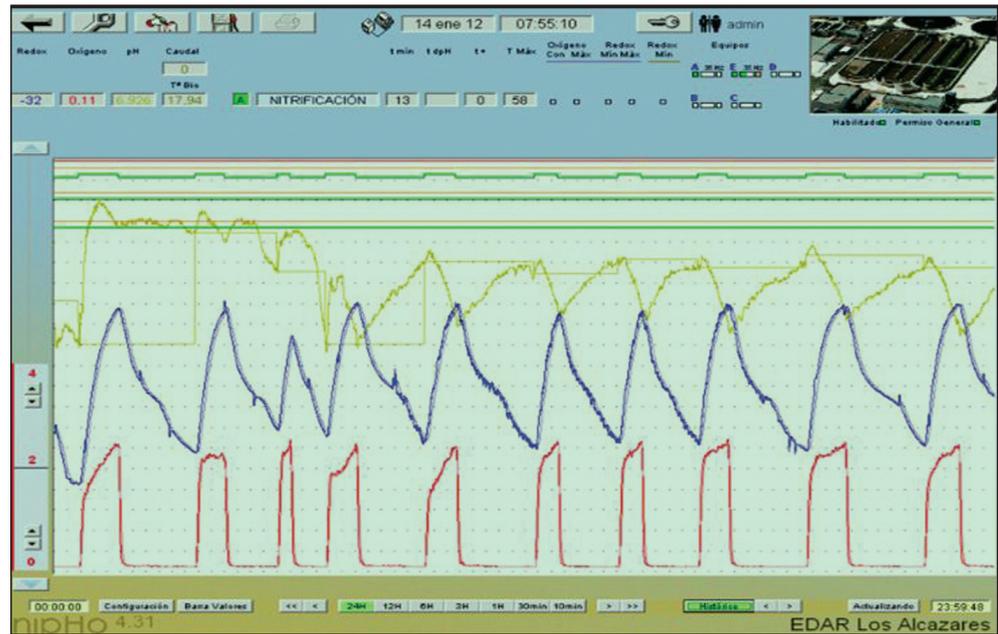


FIGURA 15. Gráfica de evolución de parámetros y ciclos del Sistema Nipho Control.

SISTEMA NIPHO

Este sistema utiliza, además de las habituales sondas redox y oxígeno, la señal de pH, para el arranque y el paro de la aireación en el biológico. La sonda de pH instalada en el reactor biológico, es capaz de medir los mínimos cambios de pH que se producen en cada una de las etapas de depuración que vamos alternando en el reactor y que nos interesa controlar para optimizar la eliminación de nutrientes al mínimo coste, estas etapas son: nitrificación, desnitrificación, liberación de fósforo y asimilación de fósforo.

En la Figura 15 se visualizan las alternancias que genera el sistema Nipho de forma automática, en los parámetros de control, oxígeno disuelto en rojo, potencial redox en azul, y pH en biológico en marrón claro.

El inicio de la aireación lo fija un cambio determinado de pendiente del pH o en su defecto un valor redox, siempre después del tiempo de desfosfatación, que como en el caso anterior, es un porcentaje del tiempo total de ciclos de nitrificación-desnitrificación. El PID ha de mantener una consigna de

oxígeno durante el periodo de aireación actuando sobre el variador de la soplante.

El paro de la aireación lo fija otro cambio de pendiente del pH o un valor determinado de oxígeno.

En el periodo de nitrificación el programa dispone de tiempos máximo y mínimo, valor redox máximo y mínimo, valor de oxígeno a mantener y valor máximo de oxígeno que para la aireación.

En el periodo de desnitrificación el programa dispone de tiempos máximo y mínimo, un valor mínimo del redox y un porcentaje de desfosfatación.

Con toda esta serie de consignas y cumplimientos, se logra obtener un agua con mínimas cantidades de nutrientes.

Una de las plantas en que está funcionando este sistema es en la EDAR de Los Alcázares. Esta planta vierte indirectamente al Mar Menor, calificado como zona sensible. En esta planta se dosifica también, sulfato de alúmina en el efluente para garantizar que los valores de fósforo no sobrepasan en ningún momento los límites de la autorización de vertido, la

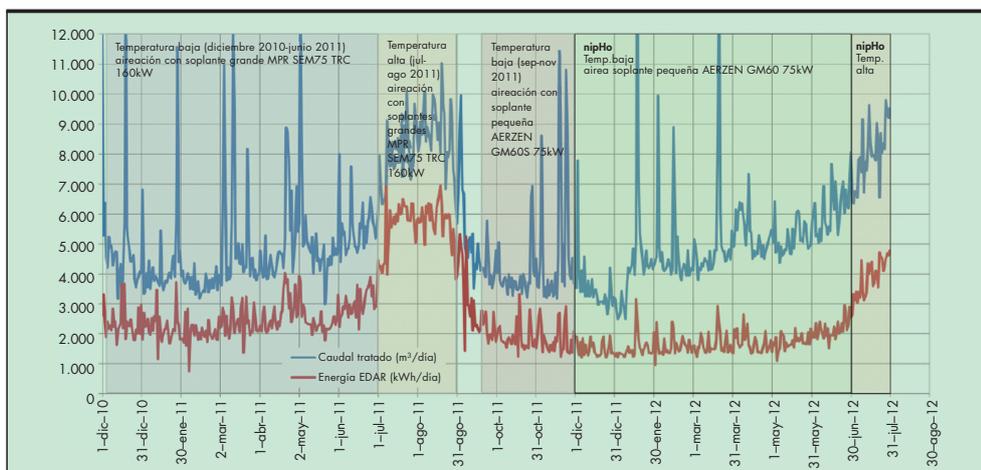


FIGURA 16. Grafico evolución caudal tratado (azul) y energía consumida (rojo) en la EDAR de Los Alcázares.

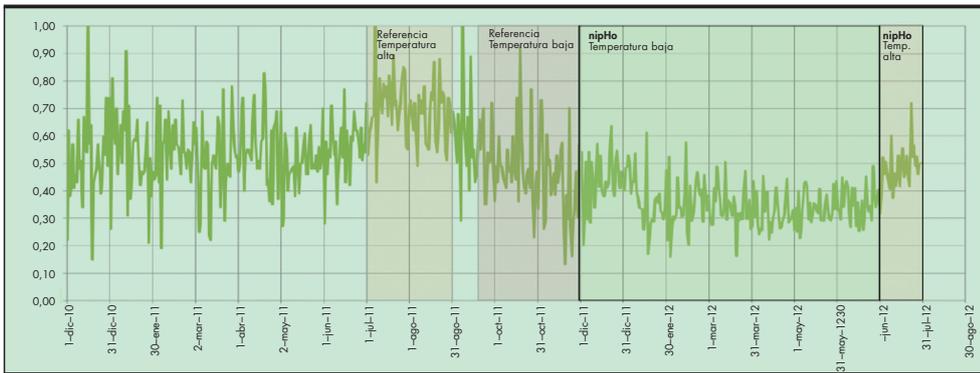


FIGURA 17. Gráfico evolución del ratio eléctrico (kwh/m³) en la EDAR de Los Alcázares, parte final con sistema Nipho Control.

dosificación la regula una sonda de medición en continuo de fosfatos. Con esta situación, el funcionamiento del sistema Nipho ha sido capaz de reducir la cantidad de reactivo necesario para precipitar el fósforo, además de lograr un ajuste en el ratio eléctrico.

El principal beneficio obtenido ha sido mantener un ratio eléctrico constante, además de conseguir una reducción aproximada del 0,20 kwh/m³, pasando de un ratio promedio de 0,59 kwh/m³ sin Nipho a 0,39 kwh/m³ con sistema Nipho.

El otro beneficio económico conseguido ha sido la reducción del consumo de sulfato de alúmina para la precipitación del fósforo, pasando de consumos promedio de reactivo de 25.000 kg/mes de producto comercial con riqueza del 8,25%, a consumos mensuales de 5.000 kg de reactivo, reducción del 80% del consumo, lo que supone unos 30.000 €/año de ahorro.

SISTEMA ACN+

Como los anteriores, es un sistema muy dirigido a las plantas con eliminación de nutrientes, buscando la eliminación por vía biológica de estos compuestos y al mismo tiempo el ahorro energético. También presenta la posibilidad de desplazar el consumo energético hacia periodos con tarifas más económicas.

Se introducen los periodos de tarificación eléctrica, y sobre cada periodo se determinan unos niveles de N-NH4 para dirigir la aireación. Estos niveles son máximo, mínimo y umbral. Este ultimo es el que controla y evita el exceso de aireación,

Control basado en NH4			
Tarifa	NH4Max	NH4Min	NH4Umbral
1	6,75	3,50	3,75
2	6	2,75	3,00
3	5,5	2,25	2,50
4	6,75	2,75	3,75
5	6	2,00	3,00
6	5,5	2,00	2,50
2	6	2,75	3

TABLA 3. Consignas de N-NH4 para cada periodo de tarifa eléctrica.

una vez sobrepasado el umbral el sistema calcula la pendiente de la curva redox, cuando la tangente es 0, es decir, la curva es plana, significa que ha terminado la nitrificación, por lo que desde aquí, todo la aireación es en exceso, siendo un coste superfluo e innecesario. Este sistema ofrece una detección rápida y segura del cambio de la pendiente, asegurando la estabilidad del sistema.



FIGURA 18. Gráfica de evolución de parámetros y ciclos del Sistema ACN+.

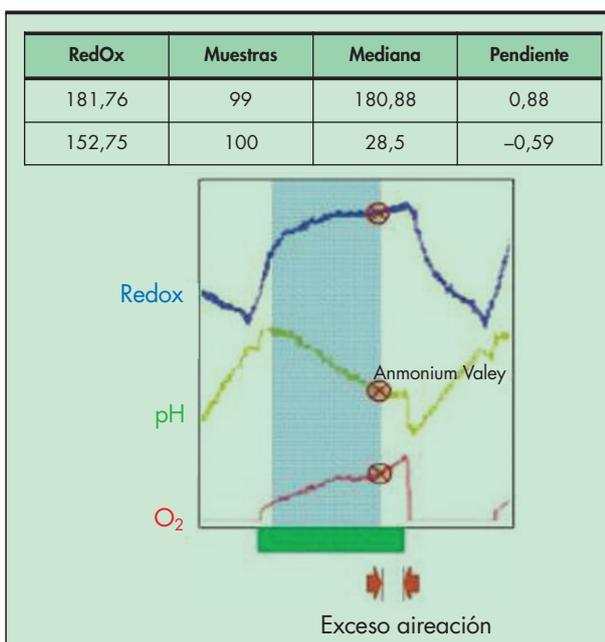


FIGURA 19. Detección cambio de pendiente.

Debido a que el sistema tiene una dependencia crítica de las sondas de amonio y redox, es controlado por el propio programa, la calibración, limpieza y estado de las mismas, emitiendo alarmas y avisos para su mantenimiento.

El sistema ACN+, con la medición de redox y amonio en continuo, permite fijar los ciclos de aireación para garantizar la calidad del efluente, modificar los ciclos y consignas de aireación en función del precio de la energía, ajustar aportes de oxígeno, maximizar el aprovechamiento de los nitratos como fuente de oxígeno molecular para degradar la materia orgánica y eliminación biológica de fósforo.

Ha sido instalado recientemente en la EDAR de Jumilla, estando en periodo de calibración y puesta en marcha. Se estima, por referencias de otras EDAR similares, una reducción de la facturación de energía del 10-15%.

SISTEMA ADEX

Método para el control de los procesos, con el nombre Control Adaptativo Predictivo Experto (ADEX). Este sistema proporciona la consecución ajustada de los distintos parámetros de control, oxígeno disuelto, redox, presiones, etc., obteniendo valores más cercanos a la consigna objetivo que un sistema convencional funcionando por PID. Este sistema es capaz de laminar los valores reales de control, y acercarlos al máximo a la consigna objetivo, evitando así los excesos de aireación, cuanto más se ajusta a la consigna mayor será la optimización.

Las consignas a mantener deben ser fijadas por el operador, modificando estas consignas según su experiencia, adaptando estas a las condiciones cambiantes de la EDAR. El conocimiento por parte del operador, del sistema de tratamiento debe ser máximo, para adaptar estas consignas objetivo en cada momento.

En la EDAR de Ceutí, se realizó una experiencia temporal de funcionamiento con ADEX, ofreciendo unos resultados sobre el control de la aireación muy fiable, manteniendo un proceso biológico muy estable. En esta experiencia, la optimización energética no era el objetivo principal, sino lograr un reactor biológico estable ante los múltiples episodios de vertidos incontrolados.

SISTEMA DE CONTROL POR LÓGICA DIFUSA

Este sistema consta de dos niveles, nivel de control supervisor y nivel de control de proceso. Este último, tiene reglas de control independientes para las variables del proceso, oxígeno disuelto y presión de descarga de las soplantes. El primer nivel, establecerá la señal de consigna óptima para la presión de descarga en función de las necesidades de oxígeno en cada momento, de forma que la válvula estén lo más abiertas posible, de esta forma la presión a mantener será en todo momento la mínima posible, optimizando el consumo energético.

El sistema controla la apertura de la válvula que regula el caudal de aire que pasa por los difusores en función de la concentración de oxígeno disuelto. El controlador de la presión modificará la velocidad de giro de la soplante en función de la presión de descarga. Con esto se pretende conseguir evitar defectos o excesos de oxígeno en periodos de alta o baja carga, respectivamente.

Las principales ventajas: permite establecer control de oxígeno independiente para cada zona de aireación con un solo grupo de soplantes, minimizar los requerimientos de aire mediante el ajuste continuo de válvulas y giro de las soplantes, y mayor estabilidad del proceso. Este sistema es especialmente interesante, en tratamientos con diseño de flujo pistón, con zonas de tratamiento claramente diferenciadas, como es el caso de la EDAR de Molina de Segura.

Este sistema está operativo en la EDAR de Molina de Segura, planta receptora de continuos vertidos industriales. Con este sistema se ha logrado ajustar la aireación en función de las modificaciones muy importantes de carga, obteniendo como principal beneficio la estabilidad del proceso biológico, y unos muy buenos resultados de eliminación de nutrientes, sobre todo en N.

2.5. NUEVOS EQUIPOS DE PRODUCCIÓN DE AIRE

Los equipos de producción de aire más habituales en los últimos años, para las instalaciones de tamaño medio, han sido las soplantes trilobulares de desplazamiento positivo de dos ejes. Actualmente han aparecido en el mercado otros equipos que pretenden ser más eficientes y con mejores prestaciones a las soplantes tradicionales. En la Región de Murcia se han instalado equipos de dos de estas nuevas tecnologías:

- Turbo de levitación magnética.
- Soplantes de tornillo.

A continuación vamos a explicar brevemente en que consisten y algunas características de dichos equipos, para posteriormente comentar los resultados que se han conseguido.

Turbos de Levitación magnética

Estos equipos suponen una evolución en la eficiencia mecánica del turbo convencional centrándose en disminuir al máximo las pérdidas sufridas en la parte mecánica, eliminándola casi por completo, mediante la aplicación de la levitación sobre el eje de la propia turbina.

La producción de aire se realiza mediante turbina. Trabajan a velocidades superiores a las nominales del motor. El aumento de velocidad se produce mediante variadores de frecuencia, de esta forma también se puede controlar el caudal.

El grado de mantenimiento es más reducido debido a que las partes mecánicas expuestas son mínimas. Los equipos cuentan con un grado de seguridad muy alto, garantizando en todo momento que la levitación es correcta, contando incluso con baterías que garanticen una parada controlada ante un corte súbito de energía eléctrica, evitando que se produzcan

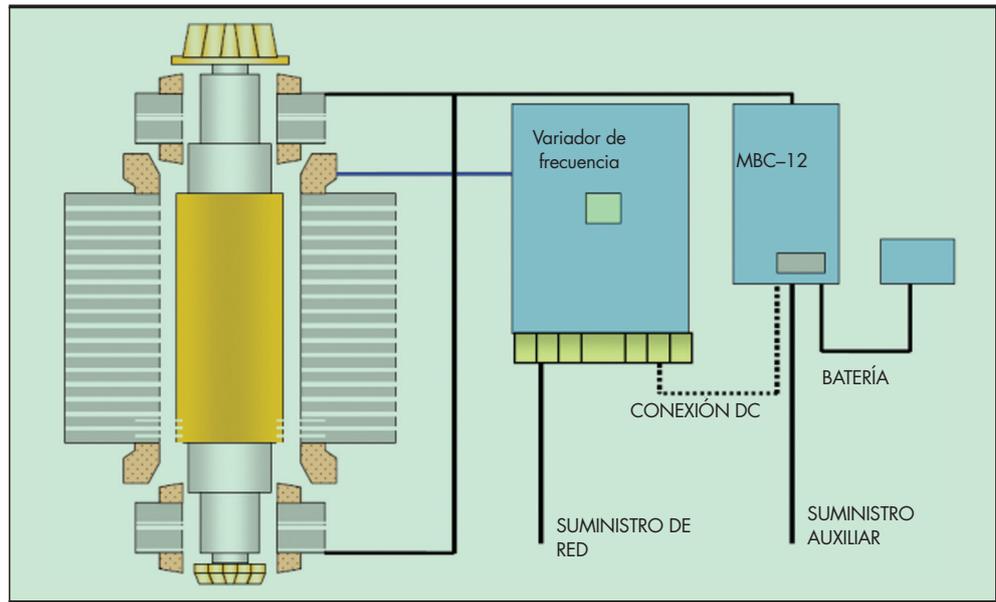


FIGURA 20. Esquema funcionamiento turbo levitación.

daños sobre el equipo. Además, estos equipos cuentan con un intervalo de trabajo mayor que las soplantes trilobulares, pasamos de un intervalo del 60–100% al 35–100%, siendo más flexibles a la hora de adaptarse a las necesidades de oxígeno en función de la carga de entrada a lo largo del día.

Entre las principales ventajas nos encontramos con:

- Mínimo mantenimiento, y más espaciados en el tiempo.
- Emisión de niveles de ruido inferior.
- Equipos más compactos y ligeros.
- Mayor rango de regulación.
- Aire sin contaminación por lubricantes.

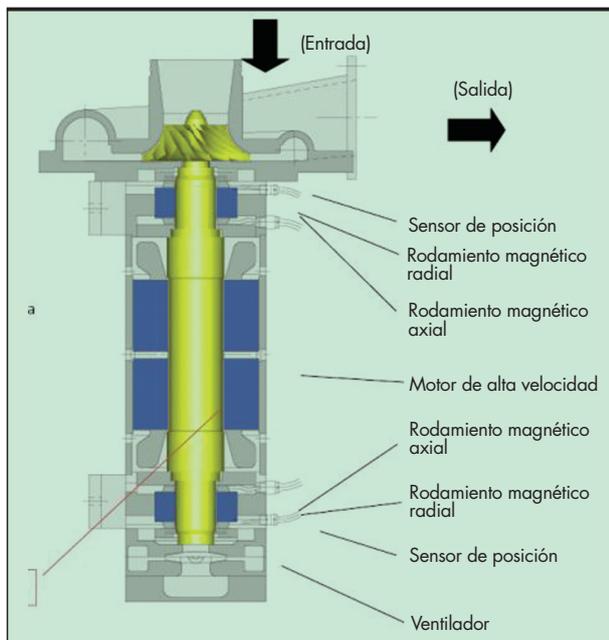


FIGURA 21. Sección turbo de levitación magnética.

Principal desventaja: coste de adquisición elevado.

Instalación en la EDAR de Caravaca de la Cruz, cambio de soplante de trilobular de 250 kw por turbo de levitación magnética de 200 kw.

Se seleccionó un equipo que produjera un caudal de aire en el mismo intervalo o más amplio que 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 fabricantes. Se realizaron mediciones reales sobre ambos equipos, realizando mediciones 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.

El equipo de levitación magnética, dependiendo del porcentaje de trabajo en el que funcione, consigue una reducción del consumo entre el 17% y el 23%.

El ratio eléctrico de producción de aire, se mantiene más estable a lo largo de todo el recorrido de trabajo en el compresor de levitación que en la soplante trilobular.

Soplantes de tornillo

El núcleo central de presurización de aire de las soplantes de tornillo se componen de émbolos rotativos de ejes gemelos, la compresión es interna, es decir entre los ejes. El aire se transporta desde la aspiración hasta la impulsión en el espacio formado entre los dos rotores helicoidales, comprimiendo el aire hasta su presión final en la impulsión, estos rotores están recubiertos de teflón y sincronizados mediante un juego de engranajes de sincronismo.

En oposición a las soplantes lobulares que la compresión es externa, entre el eje y la carcasa exterior.

Las de tornillo trabajan a velocidades superiores a las nominales del motor, mediante variadores de frecuencia y multiplicadores mecánicos, en comparación, las soplantes lobulares que trabajan a velocidades nominales del motor o inferiores, siendo el accionamiento mediante poleas conectadas con cadena cinemática o correas, que tienen mayores pérdidas.

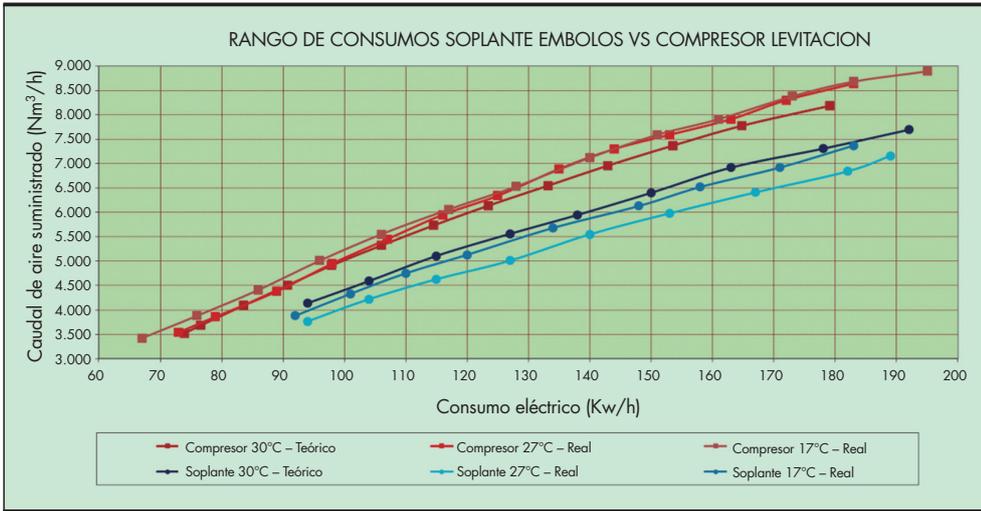


FIGURA 22. Consumos eléctricos a distintos caudales para soplante de émbolos y compresor de levitación.

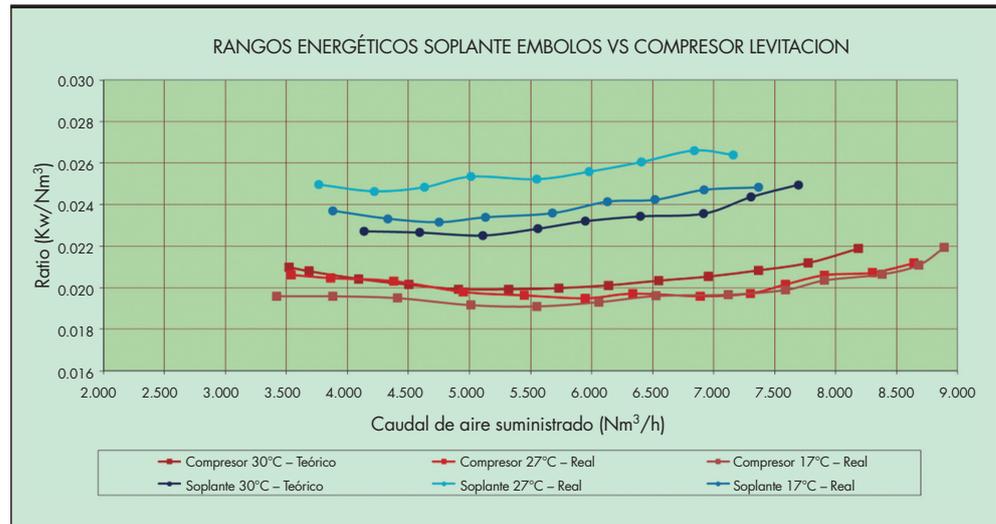


FIGURA 23. Ratio eléctrico por m³ de aire para soplante de émbolos y compresor de levitación.

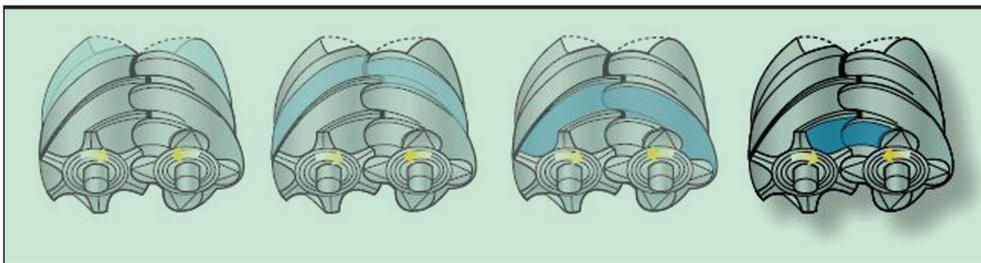


FIGURA 24. Fases de la compresión interna entre los tornillos de la soplante.

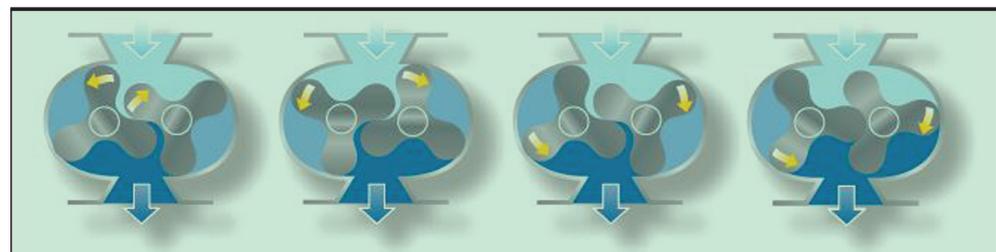


FIGURA 25. Fases de la compresión externa en soplante trilobular.

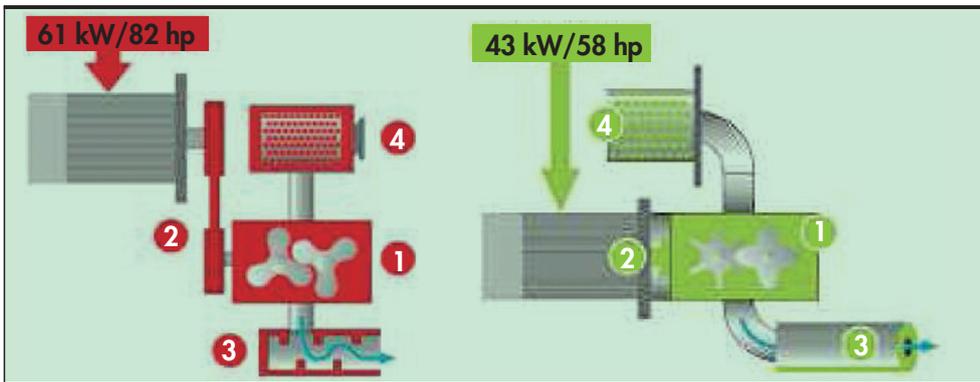


FIGURA 26. Principales puntos diferenciales entre soplante de tornillo y trilobular.

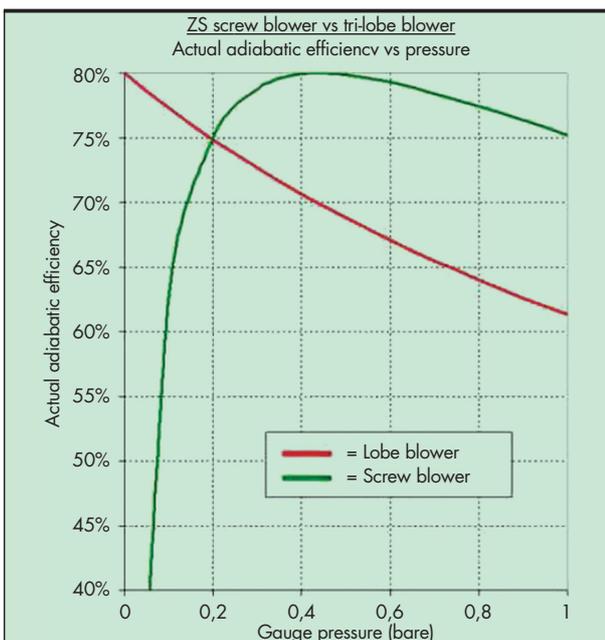


FIGURA 27. Eficiencia según presiones de trabajo de soplantes trilobulares y de tornillo.

Los puntos diferenciales entre ambos equipos donde están las principales pérdidas son:

- 1 - **Compresión:** Externa Interna
- 2 - **Trasmisión:** Correa/Polea Caja de engranajes integrada
- 3 - **Silenciador:** De placas Liso
- 4 - **Filtro:** Menor Mayor comparativamente

De forme genérica la eficiencia de un equipo con respecto al otro es la mostrada en la Figura 27.

En la EDAR de Librilla se ha sustituido una soplante trilobular por otra de tornillo. En este caso se seleccionó una soplante de tornillo capaz de suministrar el mismo caudal de aire a régimen máximo. Para producir 1.600 Nm³/h a 0,8 bar, la soplante trilobular consume 61 kwh frente a los 43 kwh consumidos por la de tornillo, según catálogo del fabricante.

Se realizaron mediciones en dos semanas consecutivas de un equipo y otro, en condiciones similares de trabajo y con la misma lógica de funcionamiento. En la instalación no se contaba con medidor de caudal por lo que se referenció al caudal tratado, la carga de influente fue muy estable. Los primeros siete días estuvo trabajando la trilobular, obteniéndose los siguientes datos promedio 300 kwh/día de consumo eléctrico, un caudal de 551 m³/d, dando un ratio de 0,544 kwh/m³. La segunda semana se hizo lo mismo obteniendo los siguientes datos promedio 199 kwh/día de consumo eléctrico, un caudal de 548 m³/d, dando un ratio de 0,364 kwh/m³.

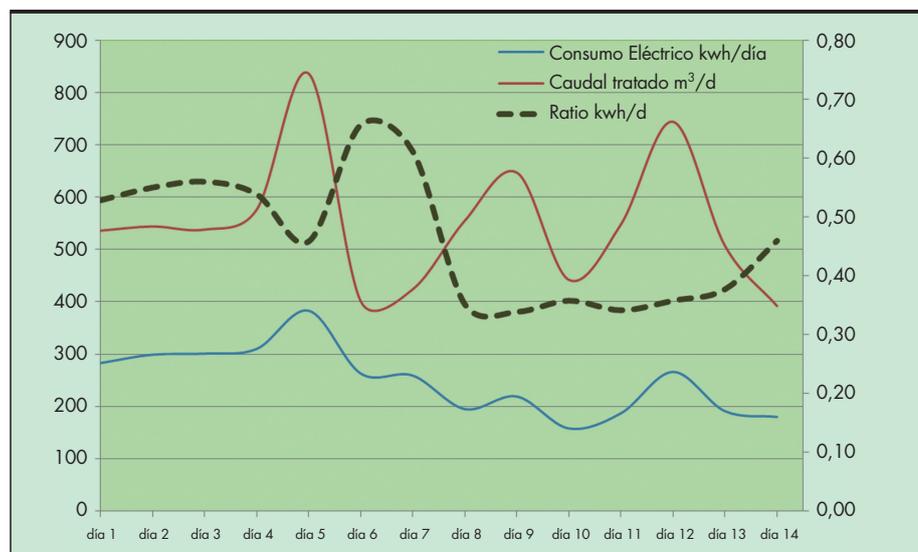


FIGURA 28. Reducción del consumo eléctrico por la instalación de una soplante de tornillo.



FIGURA 29. Detalles soplante de tornillo.



FIGURA 30. Detalle soplante trilobular.

De la Figura 28 se desprende que, aunque los caudales diarios tratados varían en una y otra semana, los ratios eléctricos obtenidos fueron distintos, siendo menores en el caso de la soplante de tornillo.

Detalles soplante de tornillo, compresión interna (Figura 29).
Detalle soplante trilobular, compresión externa (Figura 30).

2.6. DIGESTIÓN DE FANGOS

En una EDAR, el digestor de fangos ha pasado de ser una parte del proceso casi oculta y a la que no se le prestaba demasiada atención, a una de las fases del proceso más estudiadas en los últimos años. El motivo principal ha sido el gran potencial de este elemento de la depuradora para generar energía eléctrica que puede reducir de una manera muy significativa los costes de explotación, tradicionalmente mediante la combustión en un motogenerador del biogás producido por la digestión de los fangos generados en la depuradora y, en los últimos años, mediante la codigestión con otros productos con importante potencial de metanización.

Pero la relación del digestor con la energía tiene también otros factores a considerar, por su repercusión. Nos referimos, por una parte, al consumo energético que requiere la agitación del fango contenido en el mismo, así como a los sistemas para acelerar una de las fases del proceso de digestión, la hidrólisis, que permite incrementar la producción de biogás y reducir la cantidad de fango resultante.

Vamos a incidir por tanto en estos tres aspectos: El consumo energético para llevar a cabo la agitación, los sis-

temas para acelerar el proceso de hidrólisis y su efecto sobre la producción de biogás y el aprovechamiento energético de ese biogás, especialmente cuando se lleva a cabo codigestión.

2.6.1. Agitación del digestor

La agitación del fango en el interior del digestor es clave para que los procesos biológicos se produzcan correctamente y pueda desempeñar adecuadamente su función, pero debido a los muy elevados volúmenes a mover, el consumo energético de esta operación puede ser muy gravoso energéticamente.

En los digestores existentes en las estaciones depuradoras de la región de Murcia hay 3 sistemas de agitación: el de lanzas de gas, el sistema heatmix y el sistema de bomba externa con extracción e impulsión de fango. El consumo energético para los equipos implicados en dichos sistemas, como porcentaje del consumo total de la planta, es 13,7% en el primer caso y 7,73% y 7,5% respectivamente para el segundo y tercer caso. Por lo que vemos representan consumos muy importantes y bastante diferentes, lo que implica que, para poder conseguir una elevada eficiencia energética, la fase de diseño, en donde se eligen los equipos para llevar a cabo esta agitación, es crucial, seleccionando los sistemas que precisen menor consumo. Incluso en el mercado existen otros sistemas que precisan un reducidísimo gasto energético para desempeñar esta función, como por ejemplo el sistema SCABA o similares.

En el caso de que contemos ya con un sistema de agitación determinado, una manera de optimizarlo sería mediante un estudio CFD (computational fluid dynamics) mediante elementos finitos, simulando el comportamiento del fango para distintas condiciones de agitación y calculando las potencias mínimas necesarias para tener una adecuada velocidad del fango en la mayor parte del digestor y que, al mismo tiempo, garantice la no existencia de zonas muertas o con deficiente agitación. Como ejemplo se muestra en la Figura 31 el estudio de simulación del digestor de Alcantarilla cuyo sistema de agitación es mediante bombeo.

Igualmente es muy importante el llevar a cabo una adecuada labor de limpieza en el digestor, ya que la existencia de materia inerte en el digestor sólo reduce su capacidad, disminuyendo su tiempo de retención y, por tanto, su potencial metanogénico. Esta actuación puede llevarse a cabo mediante limpiezas tradicionales o con un equipo de limpieza en continuo, basado en un sistema de ciclones para separar la materia inerte de la orgánica, y que se ha estado probando en la EDAR de Alcantarilla, con buenos resultados.

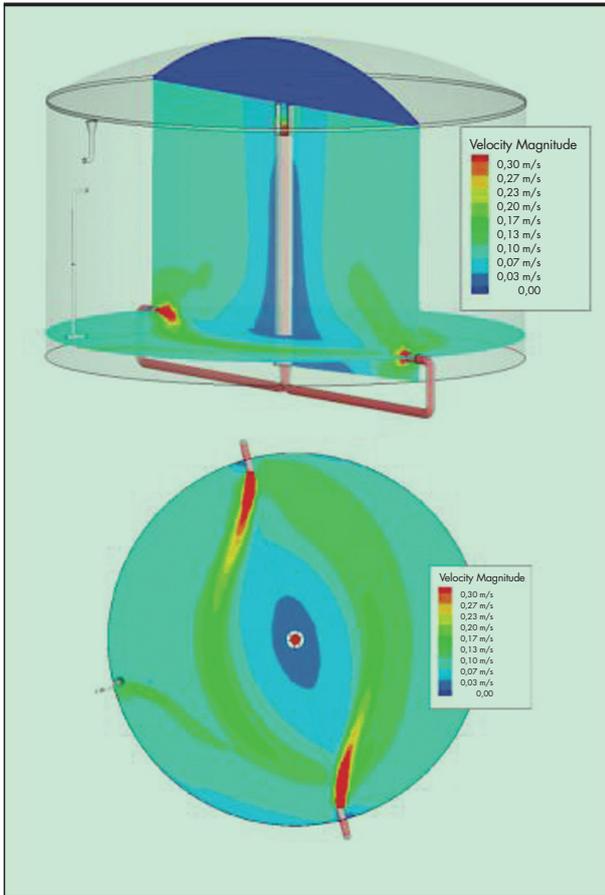


FIGURA 31. Estudio fluidodinámico del digester anaerobio EDAR Alcantarilla.

2.6.2. Fase de hidrólisis

La fase de hidrólisis es la más lenta de la secuencia de reacciones que se da en el proceso de digestión anaerobia. Por ello cualquier actuación que consiga reducir significativamente



FIGURA 32. Limpieza en continuo del digester anaerobio de EDAR Alcantarilla mediante el ciclonado del fango digerido.

este tiempo requerido por la hidrólisis llevará consigo una mejora en el proceso de digestión y, por tanto, un incremento en la energía eléctrica producida por el aumento en la producción de biogás. Hay varios sistemas para conseguir este efecto, los hay térmicos (como la hidrólisis térmica), mecánicos (como el sistema de ultrasonidos), eléctricos (como la desintegración de fangos a alto voltaje), químicos (con ácido sulfúrico o agua oxigenada, hidróxidos metálicos, etc), biológicos (como la digestión anaerobia termófila a bajo tiempo de retención), etc. Dentro de éstos y desde principios de 2006 en la Región de Murcia está funcionando un sistema de ultrasonidos en la EDAR de Molina de Segura. Esta tecnología se aplica sobre los fangos biológicos y se basa en la utilización de la energía provocada por una cavitación controlada con el objetivo de romper las paredes celulares de los microorganismos presentes en los fangos secundarios. Este objetivo se consigue a partir de una onda de sonido suficientemente poderosa (ultrasonidos a 20.000 Hz), que genera presiones positivas y negativas al medio y que comportan como resultado la formación de cavidades microburbuja que al implotar liberan gran cantidad de energía en puntos muy pequeños. En la Figura 33 se puede ver este equipo.

La mejora conseguida con este sistema no ha podido ser evaluada con total certeza puesto que coincidió con otras circunstancias como un cambio de explotador y de forma de operar la planta, por lo que es difícil discriminar la mejora debida únicamente a la instalación del equipo de ultrasonidos. El rendimiento en la digestión subió del 46% en el 2005 trabajando sin equipo ultrasonidos, al 54,1% en el 2006 trabajando ya con este equipo. El incremento en la producción de biogás fue de casi un 20% de un año a otro, pasando de 0,40 m³ biogás/Kg MV alimentado a digestión a 0,48 m³ biogás/Kg MV alimentado. Un dato para ayudar a clarificar el efecto exclusivo del equipo de ultrasonidos puede verse en la Figura 34 donde se puede ver la caída en la producción de biogás que se produjo en el digester cuando estuvo fuera de servicio el equipo de ultrasonidos durante casi 3 meses.

2.6.3. Codigestión

Se denomina codigestión a la digestión anaerobia conjunta de dos o más sustratos de diferente origen. El objetivo es optimizar la producción de biogás en una planta al producirse una



FIGURA 33. Equipo de hidrólisis SONIX en EDAR de Molina de Segura.

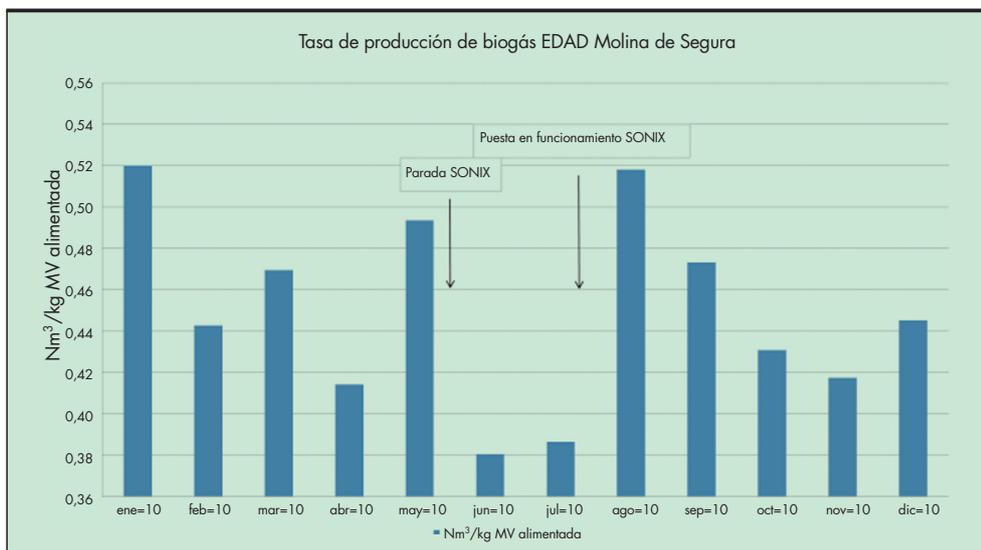


FIGURA 34. Tasa producción de biogás en EDAR Molina de Segura.



FIGURA 35. Codigestión en EDAR Molina de Segura.

sinergia entre los distintos cosustratos que consiguen una mayor producción que la que tendrían cada uno individualmente. Por otra parte se buscarán cosustratos que, además de complementar las deficiencias en cuanto a digestión de los lodos de EDAR (biodegradación lenta y baja relación C/N), sean productos energéticamente altos, es decir, con un alto poder de metanización.

Por supuesto, antes de plantearse ninguna acción de este tipo, hay que disponer de un exceso de capacidad en los digestores de las EDAR, si no el proyecto es totalmente inviable.

Las primeras experiencias en la Región de Murcia comenzaron en marzo de 2008 con el aporte de lixiviados procedente de vertedero de residuos sólidos urbanos en la EDAR de Molina de Segura, cuyo digestor operaba con más de 50 días de tiempo de retención. El resultado fue que se produjo un incremento en la producción de biogás desde $0,95 \text{ Nm}^3/\text{Kg MV}$ eliminada, antes de aportar lixiviados, hasta $1,16 \text{ Mn}^3/\text{Kg MV}$ eliminada a partir de entonces. La DQO media de los lixiviados aportados fue de 27 Kg/m^3 .

Posteriormente se han realizado aportes de otros cosustratos con un mayor potencial de metanización como melazas, gazpacho, zumo o crema de helado. Para el caso de las melazas, que se ha estado utilizando durante más de un año y cuya DQO era de 260 Kg/m^3 , con un aporte de $8 \text{ m}^3/\text{día}$

frente a un caudal medio de $167 \text{ m}^3/\text{día}$, la producción de biogás se incrementó desde $2.603 \text{ Nm}^3/\text{día}$ hasta $3.670 \text{ Nm}^3/\text{día}$ y la energía total producida pasó de 4.463 Kwh/día hasta 6.363 Kwh/día , que supone un incremento muy significativo en la energía eléctrica obtenida en el proceso de digestión, lo que avala las grandes ventajas que supone esta práctica.

Fruto de este interés se han llevado a cabo recientemente un exhaustivo estudio en planta piloto de las ventajas que supone la codigestión con diversos residuos orgánicos, en donde se ha estudiado la viabilidad técnica, los valores límite en la adición de sustrato y el incremento de producción de metano esperable, para los siguientes residuos: Melazas (residuo del azúcar de caña), restos de frutas y hortalizas, sangre de matadero y suero lácteo.

2.7. OTRAS POSIBILIDADES DE AHORRO ENERGÉTICO

Aparte de las medidas de ahorro expuestas hasta el momento podemos citar otras que, o bien son de menor entidad o son sólo proyectos que aún no se han materializado.

Entre estas posibilidades hay una evidente, que sería intentar llevar la mayor parte de los consumos, en caso de que sea posible, a las franjas horarias en que el precio de la electricidad es menor.

Con respecto a otras medidas de menos repercusión, pero que pueden ayudar a rebajar la factura eléctrica podemos citar por ejemplo el envío de reboses de centrífuga y espesadores al biológico directamente, y no a cabecera de planta, como suele hacerse, con lo que se reduce la energía necesaria para bombear estos caudales que finalmente pasaran por el reactor biológico. Otra mejora podría ser trabajar con las centrifugas con la mayor carga posible de sólidos, siempre que no se empeore la sequedad final obtenida (hay plantas que trabajan con ratios de Kwh/Kg MS de $0,003$ y otras que llegan a $0,30$). También se puede intentar concentrar lo más posible el fango en los decantadores llegando a valores inferiores al 50% de recirculación, aunque para esto es conveniente disponer de un medidor de altura de manto de fangos y vigilar que no se produzcan desnitrificaciones.

Por último, otra posible línea de ahorro energético único sería la utilización de energías alternativas, pero no como su-



FIGURA 36. Codigestión en plantas piloto.



FIGURA 37. Paneles fotovoltaicos EDAR Murcia Este.

ministro único sino como apoyo. Las más frecuentes serían la energía eólica y la solar. La primera se evaluó en las plantas existentes en la Región de Murcia, con medidas de velocidad y dirección del viento y se encontró que debido al bajo régimen de velocidades no era viable la instalación. En cuanto al segundo nos referiríamos básicamente a la energía solar fotovoltaica. Dada la situación del panorama energético actual, con la casi eliminación de las primas por venta de energía fotovoltaica, habría que plantearse la rentabilidad de instalar paneles solares pero para autoconsumo, es decir, reducir la compra de energía. Esto, que hasta hace poco tiempo era inviable, bajo ciertas condiciones se ha comprobado que puede ser interesante, debido a la gran bajada del coste de los paneles solares. Se ha estudiado la colocación de estos paneles en una planta, para una potencia reducida (60 y 100 kw/hp) y sin colocar sistema de almacenamiento, y se han obtenido períodos de retorno de unos 8 años, a lo cual también ayuda la previsible subida del precio de la energía en los próximos años. En la Figura 37 se puede ver una instalación de paneles fotovoltaicos en la EDAR de Murcia Este.

3. BIBLIOGRAFÍA

1. Simón, P; Lardín, C; Moreno, B (2010). Optimización energética del tratamiento biológico de la EDAR de Ceuti. Parte I: selección de las condiciones de funcionamiento. *Tecnología del Agua*, nº 322, pp. 54-63.
2. 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.
3. Morenilla, J.J.; Bernacer, I (2010). Experiencias en EDAR de la codigestión de sustratos sobre la producción de biogás. *Tecnología del Agua*, nº 316, pp. 44-52.
4. Simón, P; Lardín, C (2007). Optimización de la digestión anaerobia mediante la aplicación de ultrasonidos en los fangos secundarios de la EDAR de Molina de Segura. *Tecnología del Agua*, nº283, pp. 48-56.
5. Inexa, Ingeniería y Exportación de Tecnología, S.L. (2009). Deterioro del rendimiento en bombas y su prevención (03/2009 vs 1.0). www.inexa-tda.com.