

# ***Análisis energético de los procesos de una EDAR***

*Carlos Ferrer Torregrosa*

*Licenciado en Biología; Responsable del Departamento de I+D+i, FACSA*

[cferrer@facs.com](mailto:cferrer@facs.com)

*Estela Olivas Masip*

*Ingeniería Química; Jefe de Explotación EDAR Almassora*

[eolivas@facs.com](mailto:eolivas@facs.com)

*Beatriz Chiva Mengod*

*Ingeniería Química; Adjunta Jefe de Explotación EDAR Almassora*

[bchiva@facs.com](mailto:bchiva@facs.com)

*José Manuel Cabedo Oliver*

*Ingeniería Química; Jefe de Zona Dpto. Explotaciones*

[jmcabedo@facs.com](mailto:jmcabedo@facs.com)

*Mairena García Ventoso*

*Licenciada en Química; Jefe de Zona Dpto. Explotaciones*

[mgarcia@facs.com](mailto:mgarcia@facs.com)

*José Antonio Basiero Sichert*

*Ingeniería Industrial; Técnico Departamento explotaciones EPSAR*

[basiero\\_jos@gva.com](mailto:basiero_jos@gva.com)

## **1 Introducción**

La creciente concienciación de la sociedad en materia medioambiental exige un constante esfuerzo por mejorar. El reto por optimizar la eficiencia energética de las instalaciones, lejos de ser un proceso discreto en el tiempo, se conforma como una cultura de trabajo íntimamente ligada a los constantes avances tecnológicos.

Este reto es asumido por la administración y las empresas explotadoras, que tanto desde un punto de vista medioambiental como desde un punto de vista económico, ven fundamental la optimización energética de los sistemas de saneamiento y depuración.

El coste del consumo energético de una Estación de Depuración de Agua residual (EDAR) se cifra entre el 15 y el 30% del coste total de explotación.

La demanda energética es específica para cada tipo de tratamiento empleado y dependiente del tamaño de la instalación. De esta forma, cuanto mayor es la estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR), disminuye el ratio energético para un mismo tratamiento, por lo que se puede afirmar que existe una economía en escala. Por tanto, el consumo energético varía de unas instalaciones a otras, dependiendo de factores como: el tamaño de la instalación, tipo de procesos, etapas de tratamiento y carga influente (MORENILLA, J.J. 2.007).

La optimización de los procesos a nivel energético es especialmente importante en aquellas instalaciones que se encuentran trabajando por debajo de su capacidad de tratamiento, instalaciones en las que el ratio energético suele estar, en la mayoría de los casos alejado del óptimo.

Es por tanto fundamental llevar a cabo una optimización energética de las instalaciones, sin hipotecar con ello los rendimientos de las mismas, para ello se debe llevar a cabo un análisis conjunto del patrón de consumo por procesos, del rendimiento y de variables de control de los mismos.

## 2 Objetivos

El objetivo del presente estudio es determinar, por procesos, el rendimiento energético de cada uno de ellos y determinar como optimizar desde un punto de vista dual, energía y rendimiento depurador, la instalación.

El análisis integrado relacionando variables de proceso con la energía consumida permite determinar el consumo óptimo de cada proceso y el efecto que sobre este tiene el incremento o decremento del mismo.

Con el sistema de supervisión integral y análisis implantado en la instalación, estuvimos preparados para iniciar el proceso de mejora. Se enfocaron los esfuerzos hacia tres objetivos principales: ahorro de energía, mejoras en la productividad y mejoras en la fiabilidad de la instalación.

Los ahorros de energía generalmente se centraron en el control de la demanda. Mediante el sistema de supervisión integral instalado se ha podido asignar costes energéticos a cada etapa de tratamiento, en base a su consumo de energía real y a su potencia demandada, y se ha permitido evaluar y controlar los recargos por máximo.

Las mejoras en la productividad se centraron en mejorar la eficiencia de los equipos y del mantenimiento, y en mejorar la calidad de la energía.

Las mejoras en la fiabilidad, como cada parte del proceso de gestión de la energía, se basaron en la revisión de sucesos repetitivos y en evaluar la fiabilidad de los equipos.

Un control total del consumo energético permitió obtener información acerca de dónde se produce el consumo energético de la instalación, en qué parte del proceso se consume la energía y en qué momento.

Se analizó, por procesos, el rendimiento energético de la instalación variando la configuración de la misma buscando optimizar el binomio rendimiento depuración-consumo eléctrico.

Los procesos analizados de forma independiente fueron: el pretratamiento, la desodorización, el tratamiento biológico y el proceso de deshidratación de fangos. Se prestó especial atención, analizándose individualmente, a las soplantes de aireación, equipos que, por su potencia y uso, representan el mayor consumo de la instalación.

## 3 Metodología y medios materiales

### 3.1 Descripción de la EDAR

El estudio se ha llevado a cabo en la EDAR de Almassora. Diseñada para tratar hasta 13.500 m<sup>3</sup>/d tiene una potencia total instalada de 1.067 KW. Durante el 2.007 trató un caudal medio de 7.036 m<sup>3</sup>/d dando servicio a una población equivalente de 30.616 he. Los rendimientos de depuración medios fueron del 97% en SS, 96% en cuanto a DBO<sub>5</sub> y del 95% en DQO.



Figura 1 Vista aérea de la EDAR de Almassora.

La Estación Depuradora de Aguas Residuales de Almassora dispone de dos líneas de tratamiento diferenciadas por la naturaleza propia de las aguas residuales tratadas: Urbana e Industrial.

La posibilidad de unir ambos influentes urbanos e industriales a la entrada a las instalaciones de la EDAR, hace que sea una estación depuradora versátil con posibilidad de combinar ambas líneas de tratamiento con el fin de obtener la mejor calidad en el efluente.

La línea de agua urbana consta de desbaste de gruesos y tamizado de finos tras el que se lleva a cabo el desarenado y desengrasado del agua bruta. El agua pretratada puede alimentar la decantación primaria o directamente al reactor biológico. El tratamiento biológico está constituido por un reactor biológico tipo flujo pistón de  $2.906 \text{ m}^3$ , el aporte de aire se efectúa mediante 3 soplante de émbolos rotativos que alimentan una parrilla de difusores de burbuja fina. El reactor dispone tanto de recirculación interna como externa. La separación sólido-líquido se lleva a cabo en un decantador secundario dinámico de  $1.326 \text{ m}^3$  de capacidad.

La línea industrial consta de dos líneas de tratamiento. Tras el pretratamiento, idéntico al efectuado al agua residual urbana, el agua se almacena en dos tanques de homogeneización. Mediante un bombeo el agua puede impulsarse al tratamiento fisicoquímico, a decantación primaria (2 clarificadores) o directamente al reactor biológico. Este último está compuesto por dos reactores tipo flujo pistón de  $2.906 \text{ m}^3$  cada uno en los que el aporte de oxígeno se efectúa mediante 3 soplantes de émbolos rotativos. El reactor biológico dispone únicamente de recirculación externa. La decantación secundaria está compuesta por dos clarificadores dinámicos circulares de  $1.326 \text{ m}^3$  de volumen unitario.

Los fangos producidos en la los procesos anteriores son tratados mediante el concurso de dos preespesadores comunes a ambas líneas (urbana e industrial), un digestor anaerobio y un postespesador de gravedad.

La deshidratación de los fangos digeridos se lleva a cabo mediante dos filtros banda.

La EDAR dispone de sistema de desodorización mediante adsorción química que trata el aire de los edificios de desbaste, deshidratación y los espesadores.

### **3.2 Sistema integral de adquisición de datos: análisis de consumo de energía eléctrica**

El análisis energético de los distintos procesos que se llevan a cabo en una EDAR requiere de la dotación de medios adecuada y de un pormenorizado estudio del suministro eléctrico a cada uno de ellos. Los cuadros de control de motores (CCM) contienen la paramenta eléctrica correspondientes a un sector o zona de la instalación y, en la mayoría de los casos, la distribución espacial de los consumos de un proceso no queda acotada a un único CCM. En definitiva, el equilibrio entre capacidad de monitorización del consumo eléctrico por procesos y el número de equipos de medida en línea, está directamente relacionado con la arquitectura eléctrica de la instalación.

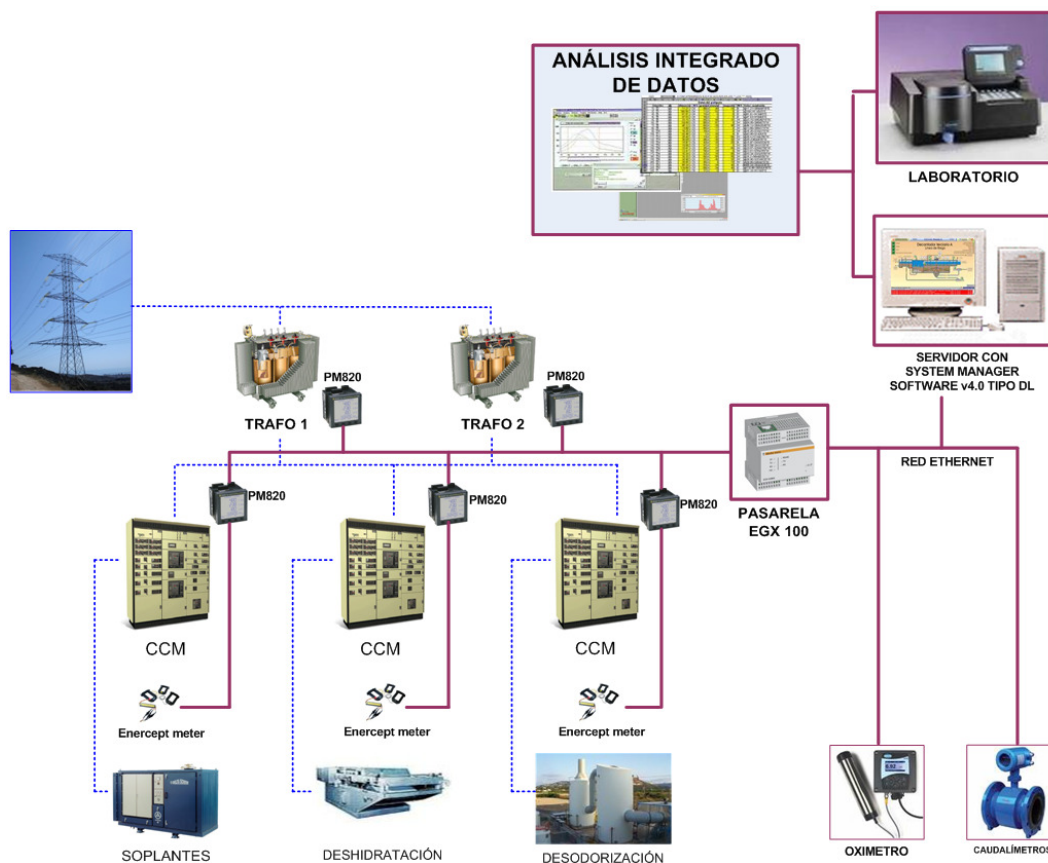


Figura 2 Esquema del sistema integral de adquisición de datos de la EDAR de Almassora.

Para obtener un “mapa” detallado de los patrones de consumo por procesos en la EDAR de Almassora, se instalaron diversos analizadores de red en los CCM. En total, además de los que había, se instalaron 5 nuevos analizadores. En concreto se instalaron 5 centrales de medida PM820 que permiten medidas eléctricas básicas con una precisión de clase 0,5. La comunicación se realizaba en protocolo Modbus a través de puerto RS485.

Mediante Pasarelas Ethernet EGX100 se cambió de protocolo Modbus RS485 a TCP/IP Ethernet. Mediante este elemento se comunican las señales de las centrales de medida PM820 con el software de gestión.

El software empleado fue el System Manager Software (SMS) vs. 4.0 tipo standard. Este permite la supervisión en tiempo real y el análisis de históricos recogido por las centrales de medida.

Para llevar un perfectamente contabilizado el consumo real de las tres soplantes de aireación y de los equipos principales (mayor consumo) del proceso de desodorización (extractor y bombas de recirculación), se instalaron sensores Enercept meter en cada uno de ellos comunicados a través del puerto Modbus con las centrales de medida.

### 3.3 Diseño experimental

Para llevar a cabo el control de las variables de proceso, se intensificó el plan de análisis habitual de la EDAR con el fin de tener un mayor tamaño muestral para cada condición de operación.

Se analizó pormenorizadamente el consumo eléctrico (datos cada cuarto de hora) y el rendimiento de cada uno de los procesos estudiados (pretratamiento, desodorización, tratamiento biológico y deshidratación).

El análisis inicial del sistema nos permitió determinar con precisión que procesos representaban un mayor consumo eléctrico en la instalación y que variables afectaban con mayor intensidad cada uno de estos procesos.

Determinado esto y gracias a la elevada flexibilidad de la que dispone la EDAR de Almassora diseñamos y analizamos distintas configuraciones de operación con el fin de optimizar el proceso de depuración desde el punto de vista del rendimiento y del consumo eléctrico sin necesidad de incurrir en inversiones.

A continuación se presenta una breve explicación de los cuatro modos de operación estudiados.

**MODO 1**

Todo el caudal se trató en las dos líneas de tratamiento industrial by pasando la decantación primaria. La aireación de ambos reactores biológicos se llevó a cabo mediante la línea de soplantes industrial controlada en función de la consigna de oxígeno disuelto. Se emplearon los decantadores secundarios de la línea industrial con recirculación externa desde cada decantador a cabecera de su correspondiente reactor.

**MODO 2**

Todo el caudal se trató en la línea de tratamiento urbana. Tras la decantación primaria toda el agua decantada ingresaba en el único reactor biológico para posteriormente proceder a la separación sólido-líquido empleando dos decantadores secundarios (uno de la línea urbana y otro de la industrial). Tanto la recirculación interna como la externa impulsaban a cabecera de la zona anóxica del reactor.

**MODO 3**

El influente mezcla del aporte de agua urbana e industrial se trata empleando la línea urbana y un reactor de la línea industrial. El caudal tratado en la línea urbana recibe tratamiento primario mientras que el tratado en la línea industrial no. De forma independiente se suministra aire a cada reactor empleando la línea de soplantes respectiva y controlando cada una de ellas por el valor de oxígeno disuelto en cabecera de su correspondiente reactor. La línea industrial solo dispone de recirculación externa mientras que la línea urbana trabajó empleando tanto recirculación interna como externa.

**MODO 4**

Configuración idéntica al modo 3, pero suministrando el aire a los reactores biológicos en operación empleando la línea de soplantes industrial para ambos reactores.

*Tabla 1 Tabla resumen con las principales diferencias existentes entre los modos de operación estudiados*

	MODO 1	MODO 2	MODO 3	MODO 4
% caudal a decantación 1ª	0%	100 %	33%	50%
Volumen reactor biológico	2.906 m3	2.906 m3	5.812 m3	5.812 m3
Línea de soplantes de aireación	Industrial	Urbana	Urb.+Ind.	Industrial
Recirculación interna	NO	SI	SI	SI

## 4 Resultados y discusión

El tamaño muestral analizado a lo largo de 14 meses es muy elevado, superándose ampliamente los 250.000 datos.

Los datos eléctricos se promediaron diariamente con el fin de asociar el consumo medio con las variables de proceso obtenidas de análisis fisicoquímicos o cálculo diario.

El análisis pormenorizado, ha permitido discriminar el consumo asociado a cada uno de los procesos implicados en la depuración del agua residual, tratamiento de los lodos generados y desodorización de la instalación.

Los resultados obtenidos se presentan en dos bloques claramente diferenciados. En un primer lugar exponemos los resultados más relevantes del análisis por procesos del consumo eléctrico para en un segundo lugar, analizar comparativamente los modos de operación descritos.

#### 4.1 Energía y procesos de una EDAR

La EDAR de Almassora trata en la actualidad, aproximadamente, la mitad de su caudal de diseño. Esto implica un importante sobrecoste en cuanto a consumo eléctrico se refiere. Si bien la elevada flexibilidad con la que cuenta la instalación permite reducir el efecto que sobre este aspecto tiene el sobredimensionamiento, se debe estudiar con detalle que modo es el más adecuado desde un punto de vista integral (estabilidad de proceso, rendimiento depuración y consumo eléctrico) para llevar a cabo una óptima depuración del agua residual.

Ciñéndonos a la arquitectura de la instalación eléctrica de la EDAR agrupamos los procesos por CCM y cuantificamos la potencia instalada y el consumo eléctrico a nivel de cada uno.

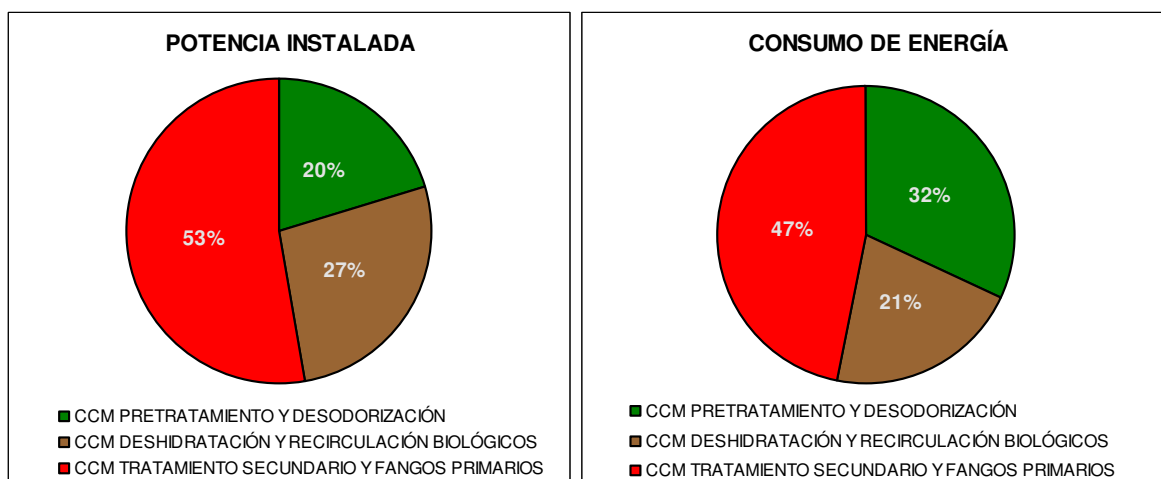


Figura 3 Distribución porcentual de la potencia instalada y el consumo de energía.

Vemos, tal y como cabía esperar al ver la potencia instalada, que el mayor consumo de la instalación se debe al sistema de aireación del reactor biológico.

Tomando el modo 1 como el modo de operación habitual de la EDAR, se efectuó, sobre un total de 263 muestras, un análisis de correlaciones con el fin de detectar relaciones estadísticamente significativas entre parámetros de proceso y el consumo eléctrico contabilizado para cada uno.

El objetivo, discriminar que variables de proceso son las que más afectan al consumo eléctrico de la instalación y determinar la mayor o menor dependencia del caudal del consumo eléctrico para cada proceso.

Destacar tanto los coeficientes de correlación presentados en esta tabla como algunos no incluidos por no ser estadísticamente significativos.

Respecto al consumo eléctrico del sistema de desodorización se constató que presenta un patrón lineal y totalmente independiente de caudal y/o carga del agua bruta influente.

Tabla 2 Correlaciones estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre parámetros de proceso y variables de consumo eléctrico

VARIABLES	Consumo eléctrico Soplante aireación
Kg de DBO5 influente	0,66
Kg de DBO5 eliminados	0,65
Relación DQO/DBO5 del influente	-0,80
SSLM reactor biológico	0,85
Temperatura del reactor biológico	0,65
Carga Volúmica	0,80

También observamos, tal y como cabía esperar, la relación directa entre los Kg de materia orgánica eliminada ( $DBO_5$ ) y el consumo eléctrico del sistema de aireación, esta relación, sin embargo, no resulta significativa si cuantificamos la materia orgánica como DQO. También podemos observar como la biodegradabilidad (expresado como la relación entre  $DQO/DBO_5$ ) de la materia orgánica efluente disminuye al aumentar el consumo de energía del sistema de aireación.

Observamos también como el incremento de los sólidos en suspensión del licor mezcla y la temperatura del reactor, influyen notablemente en el consumo energético del sistema de aireación.

No se observó relación estadísticamente significativa entre el caudal influente y el consumo eléctrico de ninguno de los procesos analizados, esto puede deberse a la dispersión observada en los datos de carga influente y al marcado sobredimensionado de la instalación.

#### 4.2 Análisis comparativo de los distintos diseños operacionales estudiados

Atendiendo a los resultados obtenidos del análisis del modo de operación 1, se propusieron 3 modos más de operación con el fin de determinar el óptimo de la EDAR. Cada uno de estos 4 modos de operación conlleva una combinación y uso de elementos de la instalación distinta. En la tabla 1 se resumen las principales diferencias entre modos de operación limitadas a características principales de la configuración del proceso.

En las Estaciones Depuradoras, el indicador que relaciona el consumo energético con el caudal de agua depurado es el Ratio energético:  $KWh/m^3$  agua tratada.

En la figura 4 presentamos un resumen gráfico de la evolución del ratio energía vs. caudal a lo largo de todo el desarrollo experimental.

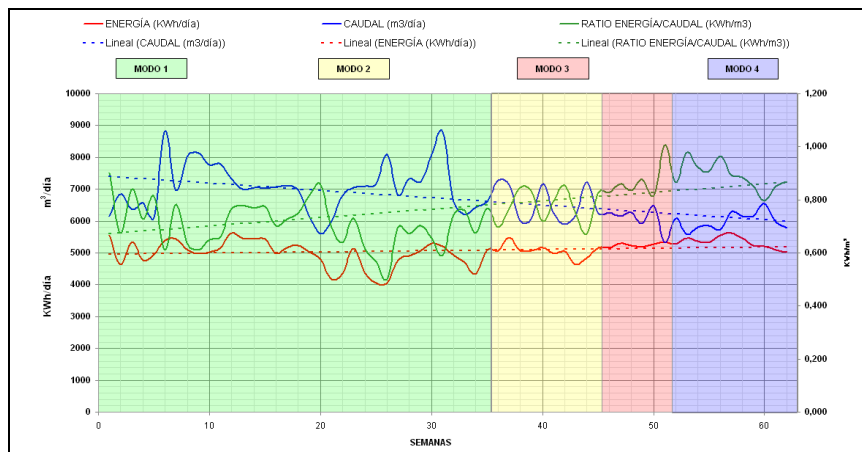


Figura 4 Consumo eléctrico total de la EDAR frente a caudal y ratio energía/caudal. Líneas de tendencia lineales

La potente capacidad de análisis integral (energético y de proceso) de la que dispone la instalación nos ha permitido comparar entre si los diferentes modos de operación. En la tabla 3 presentamos un resumen de las variables empleadas en la determinación del modo de operación óptimo.

Tabla 3 Media y desviación estándar de algunas variables en función del modo de operación. (ds=desviación estándar)

	MODO 1		MODO 2		MODO 3		MODO 4	
	Media	ds	Media	ds	media	ds	media	ds
Caudal influente (m3/día)	7.062	1.504	6.304	1.283	6.093	2.064	6.025	858
Consumo eléctrico total (KWh/día)	4.837	954	4.910	631	4.976	900	5.133	772
Ratio energía/caudal (KWh/m3)	0,711	0,195	0,799	0,369	0,915	0,399	0,872	0,198
Rendimiento eliminación SS (%)	95,484	2,763	95,009	2,919	97,434	1,464	95,614	5,413
Rendimiento eliminación DBO5 (%)	96,442	2,143	95,887	2,815	95,873	4,050	95,729	5,672
Rendimiento eliminación DQO (%)	92,790	2,185	92,025	2,743	93,281	4,097	93,247	6,920
Rendimiento eliminación NT (%)	79,364	5,728	52,134	18,382	66,416	3,210	76,061	13,495
Concentración NT en efluente (mg/l)	12,024	2,194	22,456	4,427	11,975	0,528	14,208	7,800



Los rendimientos medios de la instalación a lo largo de todo el estudio fueron del 96 % para SS, del 96 % con respecto a DBO<sub>5</sub>, del 93 % en DQO y del 74 % con respecto a la eliminación de nitrógeno total.

Entre más de 100 variables se escogieron las presentadas en la tabla 3 para determinar el modo de operación óptimo. Para cada variable se analizó la existencia de diferencias significativas entre cada modo de operación efectuando análisis de la varianza (ANOVA) de una vía. El empleo o no de determinados procesos y la configuración de los mismos (decantación primaria, recirculación externa), permitió efectuar un detallado análisis de estos. Hemos empleado el consumo global de la instalación para determinar el modo de trabajo óptimo por ser este la variable integradora del análisis energético pormenorizado de cada modo de operación.

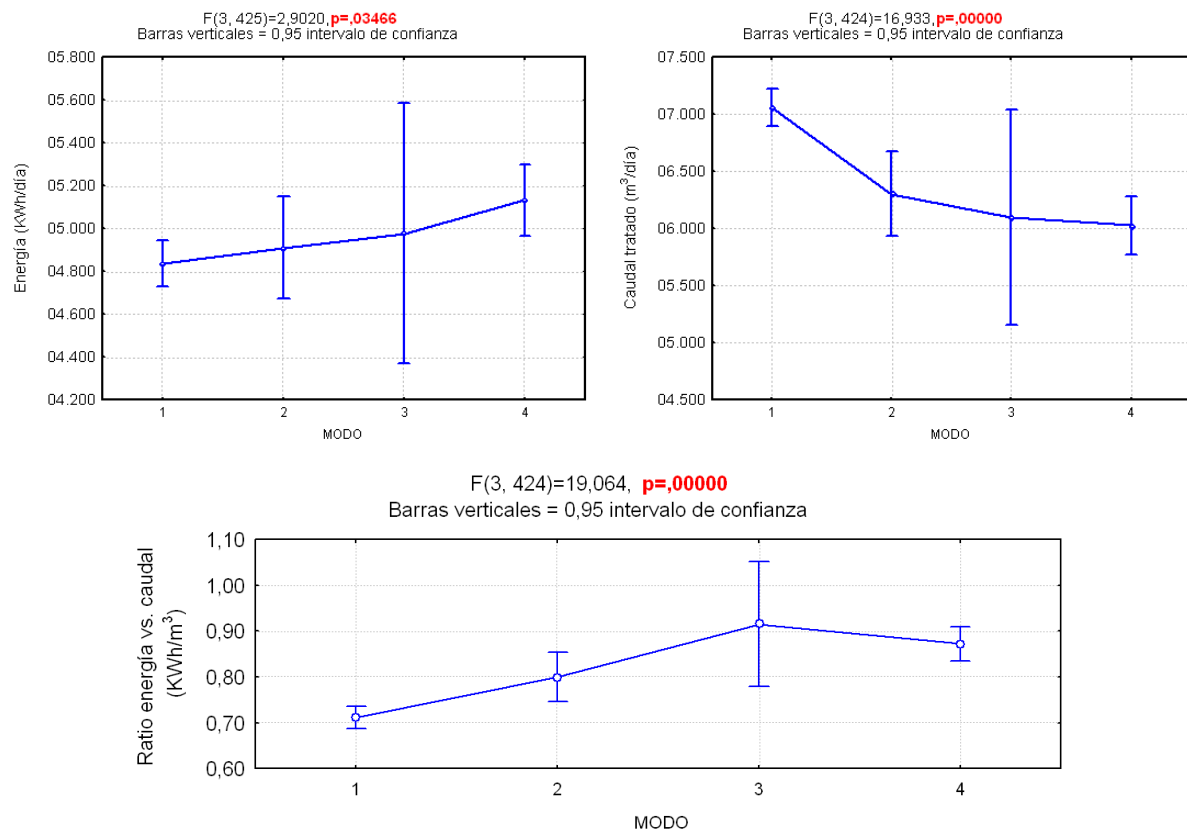


Figura 5 Representación gráfica y resultados del ANOVA realizado para comparar el consumo energético y caudal tratado en función del modo de operación.

Tal y como podemos observar en la figura 5, si existe una diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0,005$ ) entre las medias, tanto del consumo eléctrico como del caudal tratado, de los 4 modos de operación analizados, por extensión, esta diferencia significativa también se observa comparando el ratio energético de la instalación.

La sucesión cronológica de modos de operación ponen de manifiesto un marcado descenso del caudal medio de agua tratada. Este decremento ha supuesto un descenso de más de 372.000 m<sup>3</sup>/año de agua a tratar.

Con respecto al consumo eléctrico, entre el modo 1 y el modo 4, los más distanciados, existe una diferencia de 108.040 KWh/año. Teniendo en cuenta el menor caudal tratado entre estos modos de operación, el ratio KWh/m<sup>3</sup> depurado se ve notablemente incrementado.

En la figura 6 presentamos los resultados de los ANOVA efectuados analizando los rendimientos de eliminación de DQO, DBO<sub>5</sub>, sólidos en suspensión y nitrógeno total.

Observando los valores de p obtenidos podemos concluir que no existe diferencia significativa entre los rendimientos obtenidos en función del modo de operación salvo para el rendimiento en la eliminación del nitrógeno total.



Atendiendo a los valores medios de la concentración de Nitrógeno Total en el efluente de la instalación para cada modo de operación (tabla 3), podemos concluir que solo los modos 1 y 3 garantizan de forma robusta una valores efluentes por debajo de 15 ppm. El modo 2 no alcanza tal cota y presenta además, una elevada dispersión de datos. El modo 4 si bien presenta un promedio inferior a los 15 mg/l, la dispersión de los datos es muy elevada no garantizándose en todas las muestras los niveles exigidos.

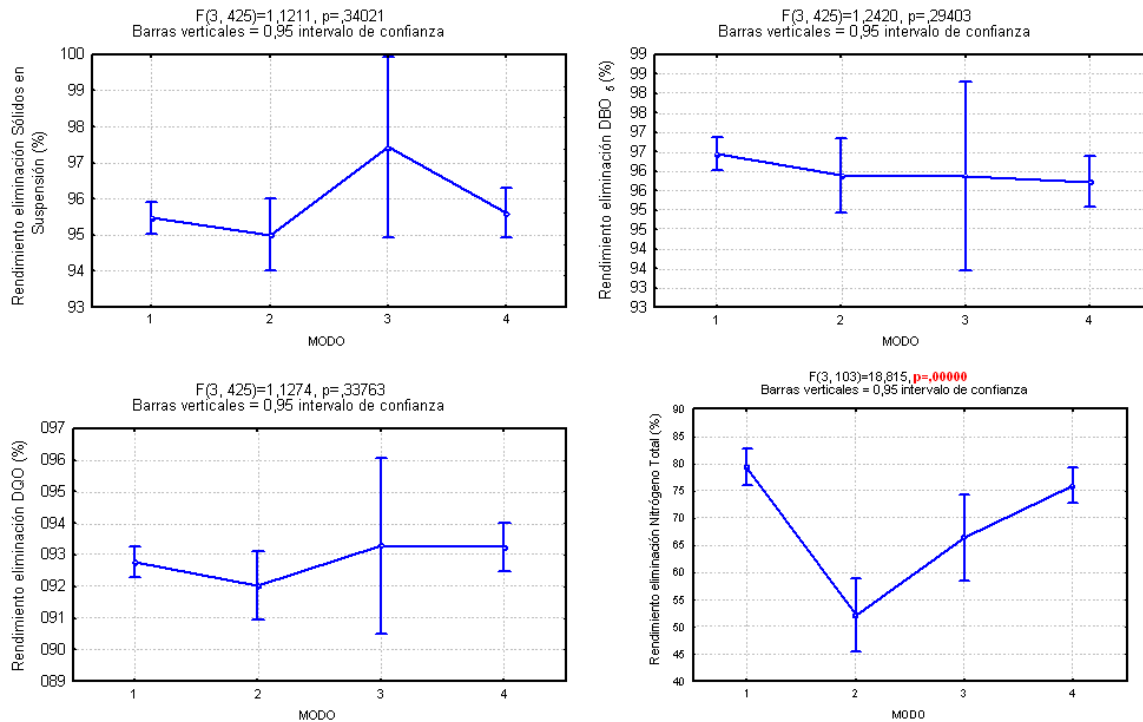


Figura 6 Representación gráfica y resultados del ANOVA realizado para comparar los rendimientos de eliminación de DQO, DBO<sub>5</sub>, SS y Nitrógeno Total en función del modo de operación.

## 5 Conclusiones

El análisis conjunto de datos energéticos y de proceso permite llevar a cabo la optimización de la instalación de depuración, no solo desde el punto de vista energético, sino también desde el punto de vista del proceso.

El proceso con mayor consumo del sistema de depuración es el tratamiento secundario y, en concreto, los equipos implicados en el suministro de oxígeno a los reactores biológicos. La optimización del funcionamiento de estos equipos es clave, no solo para reducir el consumo global de la EDAR, si no para mejorar la calidad del agua tratada.

VARIABLES como los sólidos en suspensión del licor mezcla, temperatura o la biodegradabilidad del influente se asocian directamente con el consumo eléctrico del sistema de aireación tal y como hemos podido comprobar con el análisis de correlaciones.

La situación socioeconómica global ha supuesto una tendencia a reducir el consumo de agua (principalmente de uso industrial) y por tanto el caudal de agua residual generada. En concreto, en la provincia de Castellón, en donde FACSA explota cerca de un centenar de instalaciones de depuración, esta tendencia puede afirmarse que es generalizada.

Este hecho afecta directamente a los ingresos generados por la explotación de las instalaciones debido a la reducción de los ingresos derivados de la facturación del término variable, función del caudal tratado. Es por ello muy importante el efectuar una correcta disociación entre los costes variables y costes fijos de una EDAR y determinar por procesos la dependencia del caudal de cada uno de ellos, especialmente en instalaciones

sobredimensionadas en donde la proporcionalidad no se ve respaldada, en algunos procesos, por los datos analizados.

La metodología de trabajo empleada dota al operador de la EDAR de nuevas herramientas de decisión en el proceso de optimización de la EDAR.

Para el caso concreto de la EDAR de Almassora, el modo 1 de operación, tanto a nivel energético como de proceso, es el óptimo entre los modos analizados. El ratio energético es el más reducido presentando una adecuada eliminación de materia orgánicos y nutrientes inorgánicos.

## 6 Agradecimientos

A D. Jaime Beltrán Salvador, Ingeniero de Telecomunicaciones del Dpto. de Usuario Final de la delegación de Schneider en Castellón por el asesoramiento y apoyo prestado.

## 7 Bibliografía

Morenilla, J.J. *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. p.34. CEDEX. Madrid, 2007.

*IX Jornadas Técnicas de Gestión de Sistemas de Saneamiento de Aguas Residuales organizadas por la Agencia Catalana del Agua, ACA.*