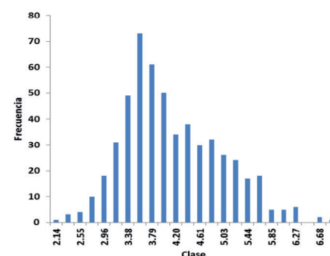


Parametrización del consumo energético de las depuradoras de aguas residuales (levante español)



Parametrization of energy consumption of sewage treatment plants (east of Spain)



Arturo Albaladejo-Ruiz, Arturo Albaladejo-Falcó

Universidad de Alicante. Instituto Universitario del Agua y las Ciencias Ambientales. Carretera San Vicente del Raspeig, s/n - 03690 San Vicente del Raspeig (Alicante). Tlfno. +34 665 910890

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/7527> | Recibido: 07/01/2015 • Aceptado: 06/03/2015

ABSTRACT

- The steady increase in the cost of electricity has caused these tend to become the most significant costs of the operation and maintenance of the plant wastewater treatment plant (WWTP). The purpose of this research is to determine the relationship of energy consumption of a WWTP with the main characteristic parameters of its operation, for this reason it statistically analysed 538 plants in Eastern Spain (Region of Murcia and Valencia). The results gave an average consumption weighted by flow of 0.42 kWh / m³ and 2.78 kWh / equivalent population, and that the ratio of energy consumption vary through a negative exponential relationship, showing that the ratio of power consumption of the WWTP increases with decreasing the size of the population served. The final conclusion is that, whenever possible, is warranted the tendency to design wastewater treatment plants as large as possible, grouping the discharge flow rate of several scattered populations.
- Keywords:** WWTP, urban wastewater treatment plant, energy costs, energy efficiency, energy consumption.

RESUMEN

El sostenido incremento de los costes de la energía eléctrica ha provocado que éstos tiendan a convertirse en los costes más significativos de la operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales (EDAR).

El objeto de esta investigación, es determinar la relación (a nivel general) del consumo de energía de una EDAR con los principales parámetros característicos de su funcionamiento, para lo que se analizaron estadísticamente 538 plantas del Este de España (Comunidad Valenciana y Murciana).

Los resultados obtenidos dieron un consumo medio ponderado por caudal de 0.42 kWh/m³ y 2.78 kWh/habitante equivalente, y que dichas cifras de consumo energético varían según una relación exponencial negativa, que demuestra que el ratio de consumo de energía de las EDAR aumenta cuando disminuye el tamaño de la población servida.

La conclusión final es que, siempre que se pueda, se justifica la tendencia a diseñar plantas depuradoras de aguas residuales

del mayor tamaño posible, agrupando el caudal vertido de varias poblaciones dispersas.

Palabras clave: EDAR, planta de tratamiento de aguas residuales urbanas, costos de la energía, eficiencia energética, consumo de energía.

1. INTRODUCCIÓN

Tras haber tenido que defender, durante más de 20 años, las cuentas de resultado de la operación y mantenimiento de muchas EDAR ante las entidades públicas responsables de fiscalizar los costes, y tras haber preparado la presentación de cientos de ofertas económicas de gestión de las depuradoras, se llegó a la conclusión de que no existían investigaciones estadísticas que determinasen los ratios medios y óptimos de consumo energético de las mismas que sirviesen de límite de comparación y de objetivo a conseguir, ya que la mayoría de los estudios se centran en ahorros energéticos con desarrollos tecnológicos particulares [1]

El consumo de energía en una EDAR depende del tamaño de la misma, de la carga contaminante de influente, del tipo de tratamiento y de la tecnología utilizada [2] y [3], por lo que el costo de la energía variará de unas a otras EDAR. La energía consumida en una EDAR es principalmente de origen eléctrico, excepto en las grandes instalaciones con sistemas de cogeneración. Dicha energía eléctrica se utiliza fundamentalmente para bombas, soplantes y / o aireadores, calefacción digestor, deshidratación de lodos mediante centrifugación o filtros banda, desinfección ultravioletas, y sistemas de desodorización [4].

El coste de la energía consumida es uno de los costes más elevados, suponiendo más de un 33% del total de los costes de operación y mantenimiento. La importancia del coste de la energía sube gradualmente debido al continuo incremento de los precios de la energía, siempre por encima del resto de costes.

El objeto de este estudio es determinar la relación (a nivel general y no específico por tecnologías) entre el consumo de energía en una EDAR urbana y los parámetros principales de su operación, en función de la variación del tamaño de las depuradoras, mediante la definición de:

1. Las correlaciones prácticas entre dichos parámetros y el consumo energético real de las EDAR.
2. Los ratios medios ponderados de consumo energético respecto a los parámetros principales de operación.
3. Las fórmulas empíricas que pronostiquen el consumo energético de las EDAR (de la C. Valenciana) en función de dichos

parámetros según el tamaño de la depuradora, acotando el ámbito en el que se puedan aplicar y el grado de fiabilidad de las fórmulas.

Con tal fin, se han analizado los datos de 2 años de 538 EDAR de la Comunidad Valenciana y de la Región de Murcia (España), actualmente en servicio, y se ha cuantificado su consumo de energía en relación a los parámetros más característicos de la operación y gestión. Posteriormente se han analizado las correlaciones entre dichos parámetros y se ha segmentado la muestra según el tamaño de las EDAR (en m³ mensuales tratados y en habitantes equivalentes servidos), para obtener los valores medios ponderados de la relación del consumo de energía respecto a dichas variables, y para definir las fórmulas empíricas que pronostiquen el consumo energético de las EDAR según dichas variables en función del tamaño de la EDAR, acotando el grado de fiabilidad de las fórmulas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se han considerado los datos de los años 2010 y 2011 de las EDAR de la Comunidad Valenciana, y de La Región de Murcia, facilitados por la *Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales de la Comunidad Valenciana, España* (EPSAR) y por la *Entidad de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales de la Región de Murcia* (ESAMUR), aunque se ha tenido que eliminar de la investigación alguna EDAR por inconsistencias en los datos de campo o falta de datos de los 2 años completos, por lo que finalmente se han estudiado 538 EDAR, en su mayoría del tipo aireación prolongada [5] con procesos de eliminación de nutrientes (principalmente nitrógeno) y con tratamientos terciarios de regeneración, cuyo esquema se muestra en la Figura 1. El conjunto de las depuradoras

De estas correlaciones se puede extraer ciertas conclusiones:

- La mayor correlación del consumo energético de las EDAR (kWh mes) es respecto al número de habitantes equivalentes servidos (h-e).
- La siguiente mayor correlación del consumo energético de las EDAR es respecto a la cantidad de materia orgánica total depurada ($\Sigma\Delta$ Dep.) medida en la suma algebraica de toneladas (T) de DBO₅ depurada, de Sólidos en Suspensión (SS) depurada, de Nitrógeno total (N_{tot}) depurado y de Fósforo total (P_{tot}) depurado.
- Las correlaciones del consumo energético de las EDAR más interesantes de estudiar separadamente son respecto a la cantidad de materia orgánica depurada medida en T de DBO₅ depuradas y las medidas en T de SS depuradas.
- La correlación del consumo energético respecto a la variable más usualmente utilizada (m³) es buena, aunque no tan alta como las anteriores.
- La correlación individual del consumo energético respecto al N_{tot} (nitrógeno total) y el P_{tot} (fósforo total) depurado y medido en toneladas, es menos significativa, aunque se estudiará también.

2.2 SEGMENTACIÓN DE LAS EDAR POR TAMAÑO

Debido a la gran cantidad de datos, y a las dispersiones de algunos valores en algunas de las plantas por consideraciones particulares (en el consumo energético de algunas plantas se incluye el de muchos bombeos intermedios, en otras EDAR que están cerca de ríos las infiltraciones al saneamiento provocan que tengan mucho caudal y poca contaminación...) es conveniente segmentar la muestra mediante histogramas que agrupen la población estadística en grupos similares.



Fig. 1: Diagrama de flujo del Proceso de Aireación prolongada con eliminación de Nitrógeno

estudiadas han depurado unos 556 hm³ anuales de aguas residuales, que corresponden al agua residual producida por más de 7.175.649 habitantes equivalentes (habitantes equivalentes h-e = "carga orgánica biodegradable con una demanda bioquímica de oxígeno de cinco días (DBO₅), de 60 gramos de oxígeno por día" según RD/11/1995).

2.1. ANÁLISIS DE CORRELACIONES ENTRE TODOS LOS PARÁMETROS

Para centrar los objetivos de la parametrización, se ha realizado un análisis de los coeficientes de correlación de Pearson entre todas y cada una de las variables con cada una de las otras. Evidentemente, para la investigación, sólo interesa la columna de correlación del consumo de energía kWh y se pueden eliminar los datos de DQO por ser redundantes, y los de valor cercano a cero por no ser significativa la correlación, quedando resumido así: como sigue.

La segmentación física y biológicamente más lógica a hacer es por tamaño de EDAR, por lo que se realiza la investigación inicialmente con los 2 tipos de agrupación de tamaños más habituales en las EDAR:

1. Por caudal tratado (media mensual de m³).

	kWh mes
m ³ mes	0.94
habitante equivalente (he)	0.98
ΔDBO ₅ (Toneladas)	0.97
ΔSS (Toneladas)	0.96
ΔDQO (Toneladas)	0.97
ΔN _{tot} (Toneladas)	0.89
ΔP _{tot} (Toneladas)	0.86
ΣΔ Dep. (Toneladas)	0.97

Tabla 1: Coeficientes de correlación entre variables principales y el ratio kWh mes

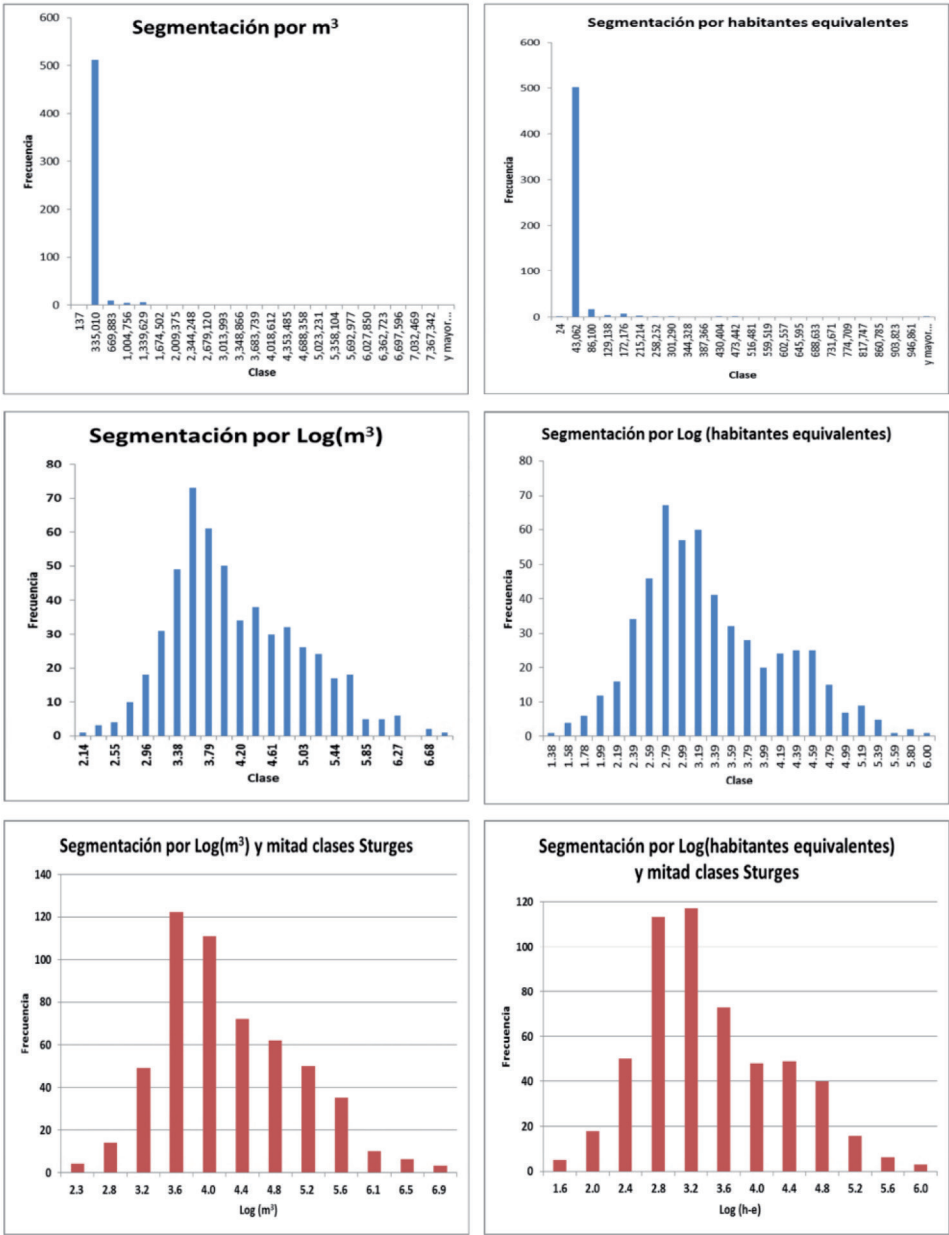


Fig. 2: Histogramas estudiados de la muestra según distintas variables

2. Por habitantes equivalentes, considerando que esta es también la que han realizado en el Informe del Instituto de Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) [7].

Para calcular los histogramas de las frecuencias en cada segmento se realizan las segmentaciones según la regla de Sturges [8]. En la Figura 2 se muestran los histogramas con las segmentaciones de la muestra de 538 EDAR según los dos tipos anteriores, y según sus logaritmos decimales, que mejoran las posibilidades de estudio. Finalmente también según logaritmos, pero con la mitad de las clases definidas por Sturges, ya que concentra mejor la muestra y reduce el número de clases facilitando el estudio.

3. RESULTADOS

Para las dos últimas segmentaciones propuestas anteriormente, se realiza el estudio estadístico, ordenando los datos de menor a mayor según la variable de segmentación en cada caso [log (m³) o log (h-e)], y calculando los promedios en cada segmento de la muestra, y sus ratios correspondientes, cuyo resultado se muestra en las Tablas 2 y 3.

En la Figura 3 se representan las gráficas donde se muestran:

- En color azul las curvas de los 8 ratios principales del consumo de energía en las EDAR respecto el Logaritmo del caudal tratado en m³.

Frecuencia	h-e promedio	Promedio m3	Log (promedio m³)	kWh	kWh/m³	kWh/h-e	T DBOs	MWh/T DBOs	T SS	MWh/T SS	T DQO	MWh/T DQO	TN	MWh/TN	TP	MWh/TP	T total	MWh/T
4	31.05	167	2.22	681	4.07	21.94	0	12.40	0	13.70	0	6.30	0	0.00	0.0	2,157	0	3.20
14	102.92	404	2.61	863	2.14	8.39	0	4.44	0	5.70	0	2.37	0	85.86	0.0	890	1	1.20
49	189.76	1,008	3.00	1,421	1.41	7.49	0	3.98	0	5.04	1	2.14	0	119.57	0.0	756	1	1.08
122	530.49	2,601	3.42	2,661	1.02	5.02	1	2.72	1	3.15	2	1.42	0	82.68	0.0	480	4	0.71
111	970.67	6,222	3.79	5,393	0.87	5.56	2	2.94	2	3.39	4	1.52	0	58.79	0.0	429	7	0.76
72	2,886.01	16,214	4.21	11,500	0.71	3.98	6	2.04	5	2.49	11	1.08	0	33.94	0.1	225	21	0.54
62	7,228.34	42,911	4.63	28,843	0.67	3.99	14	2.00	12	2.37	28	1.04	1	25.52	0.2	176	56	0.52
50	20,943.42	110,909	5.04	81,176	0.73	3.88	40	2.05	39	2.10	79	1.03	4	21.70	0.5	155	161	0.50
35	47,048.77	276,683	5.44	138,716	0.50	2.95	91	1.52	89	1.56	180	0.77	8	18.20	1.1	126	369	0.38
10	130,811.39	703,918	5.85	328,863	0.47	2.51	253	1.30	237	1.39	471	0.70	22	14.77	3.8	87	987	0.33
6	185,312.75	1,333,849	6.13	420,104	0.31	2.27	358	1.17	359	1.17	699	0.60	13	31.23	2.9	143	1,433	0.29
3	580,736.78	4,994,411	6.70	1,386,865	0.28	2.39	1,149	1.21	1,483	0.93	2,620	0.53	112	12.35	19.4	71	5,384	0.26
538	7,175,649	46,385,817		19,958,608	0.43	2.78	12,604	1.58	12,901	1.55	25,461	0.78	1,045	19.09	168	119	52,180	0.38

Tabla 2: Resultados de promedios y ratios para la segmentación por Log (m3) con la mitad de clases de Sturges

Frecuencia	h-e promedio	Log (h-e pro)	Promedio m3	kWh	kWh/m ³	kWh/h-e	T DBO ₅	MWh/T DBO ₅	TSS	MWh/T SS	T DQO	MWh/T DQO	TN	MWh/TN	TP	MWh/TP	T	MWh/T
5	31	1.49	256	610	2.39	19.82	0	11.52	0	14.29	0	6.08	0	0.00	0.0	3,688	0	3.11
18	69	1.84	658	975	1.48	14.19	0	8.83	0	12.61	0	4.80	0	232.84	0.0	2,164	0	2.47
50	176	2.24	1,704	2,231	1.31	12.71	0	7.48	0	4.74	1	3.78	0	88.09	0.0	787	1	1.61
113	431	2.63	3,121	2,895	0.93	6.72	1	3.61	1	3.83	2	1.84	0	82.43	0.0	565	3	0.91
117	1,002	3.00	6,631	5,002	0.75	4.99	2	2.62	2	2.71	4	1.30	0	43.18	0.0	310	8	0.65
73	2,405	3.38	19,415	10,986	0.57	4.57	4	2.47	4	2.47	9	1.21	0	36.34	0.0	247	18	0.60
48	6,128	3.79	38,545	24,526	0.64	4.00	11	2.14	11	2.32	22	1.12	1	23.73	0.1	176	45	0.54
49	16,618	4.22	113,254	66,943	0.59	4.03	31	2.15	34	1.99	67	1.01	4	16.34	0.6	103	136	0.49
40	36,735	4.57	205,271	125,751	0.61	3.42	69	1.81	66	1.91	139	0.90	7	16.82	1.1	110	283	0.44
16	104,829	5.02	670,822	254,634	0.38	2.43	205	1.24	246	1.03	451	0.56	15	17.11	2.6	99	920	0.28
6	203,143	5.31	1,398,138	482,255	0.34	2.37	408	1.18	414	1.16	853	0.57	14	34.86	2.8	173	1,692	0.29
3	623,231	5.79	4,256,691	1,401,987	0.33	2.25	1,300	1.08	1,646	0.85	2,888	0.49	132	10.64	22.8	61	5,988	0.23
538	7,175,649	6.86	46,385,817	19,958,608	0.43	2.78	12,604	1.58	12,901	1.55	25,461	0.78	1,045	19.09	168	119	52,180	0.38

Tabla 3: Resultados de promedios y ratios para la segmentación por Log (h-e) con la mitad de clases de Sturges

- En color verde las rectas con el valor medio ponderado de dicho ratio para el total de la muestra.
- En color rojo la curva teórica que mejor se ajusta a los datos agrupados por segmentos.
- La ecuación de dicha curva y el grado de ajuste o correlación a dicha curva.

En la Figura 4 se representan las gráficas donde se muestran:

- En color azul las curvas de los 8 ratios principales del consumo de energía en las EDAR respecto el Logaritmo del número de habitantes equivalentes.
- En color verde las rectas con el valor medio ponderado de dicho ratio para el total de la muestra.
- En color rojo la curva teórica que mejor se ajusta a los datos agrupados por segmentos.
- La ecuación de dicha curva y el grado de ajuste o correlación a dicha curva.

4. DISCUSIÓN

Tal y como se observa en la Figura 2, tras un análisis estadístico de la muestra, se deduce que la mejor forma de estudiar los ratios de consumo energético es respecto a los logaritmos decimales de las variables características principales del tamaño de una EDAR, los m³ tratados o los habitantes equivalentes servidos. Incluso se mejora la efectividad de los ajus-

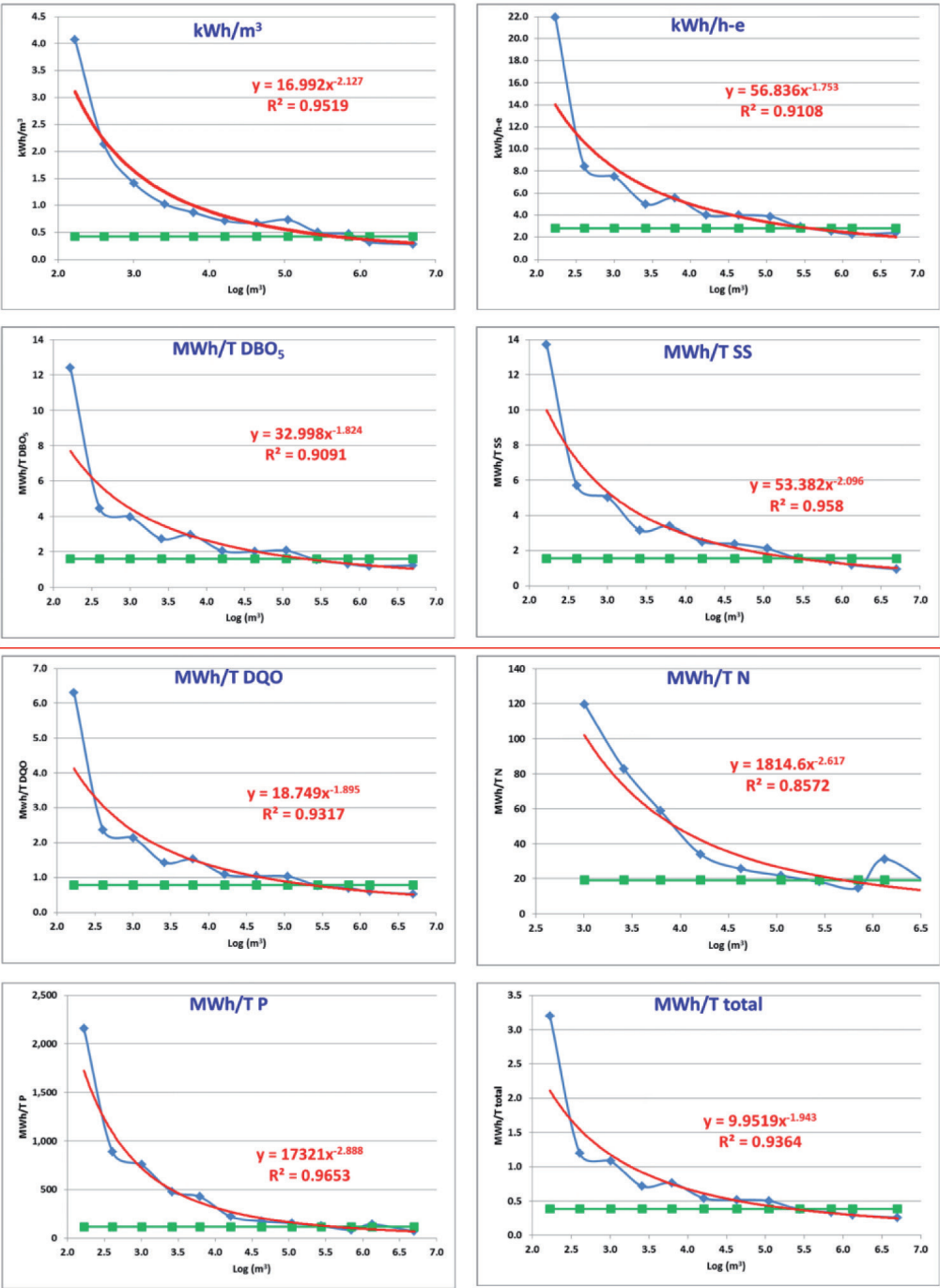


Fig. 3: Gráficas principales ratios consumo energético respecto Log (m3), medias y ajustes

tes y cálculos si se utiliza la división de la muestra en la mitad del nº de clases que se deberían establecer según la metodología de Sturges [8].

La primera conclusión del estudio, es que para 538 EDAR, que tratan mensualmente una media de 46.385.817 m³ de aguas residuales correspondientes a 7.175.649 habitantes equivalentes:

- Se consumen 19.958.608 kWh mensualmente.
- Se eliminan 12.604 Toneladas de Demanda Bioquímica de Oxígeno tras 5 días (DBO₅).
- Se eliminan 12.901 Toneladas de Sólidos en Suspensión (SS).
- Se eliminan 25.461 Toneladas de Demanda Química de Oxígeno (DQO).
- Se eliminan 1.045 Toneladas de Nitrógeno (N).
- Se eliminan 168 Toneladas de Fósforo (P).
- Se eliminan 52.179 Toneladas totales (DBO₅ + SS + DQO + N + P = variable sin sentido bioquímico pero útil estadísticamente).

Esto supone que se obtienen unos ratios medios ponderados de consumo energético como sigue:

- 0,43 kWh/m³.
- 2,78 kWh/h-e.
- 1,58 MWh/T DBO₅.
- 1,55 MWh/T SS.
- 0,78 MWh/T DQO.
- 19,09 MWh/T N.
- 119 MWh/T P.
- 0,38 MWh/T total eliminada.

Los ratios anteriores servirán de guía para el prediseño y para el control de la Operación y Mantenimiento de las EDAR. No obstante, para que puedan servir de niveles óptimos que se utilicen para fijar como objetivos de la buena operación de plantas, se debe tener en cuenta que dichos ratios varían exponencialmente con el tamaño de la EDAR (en m³ o h-e) según las fórmulas aproximadas de la Figura 4, y por consiguiente pedirle a cada planta el ratio que le corresponda según su tamaño. El Resumen de las fórmulas de variación de dichos ratios es el siguiente:

- **kWh/m³:**
 - o = 16,9920 X^{-2,1270} con X = Log (m³).
 - o = 3,6973 X^{-1,3650} con X = Log (h-e).
- **kWh/h-e:**
 - o = 56,8360 X^{-1,7530} con X = Log (m³).
 - o = 37,9650 X^{-1,6530} con X = Log (h-e).

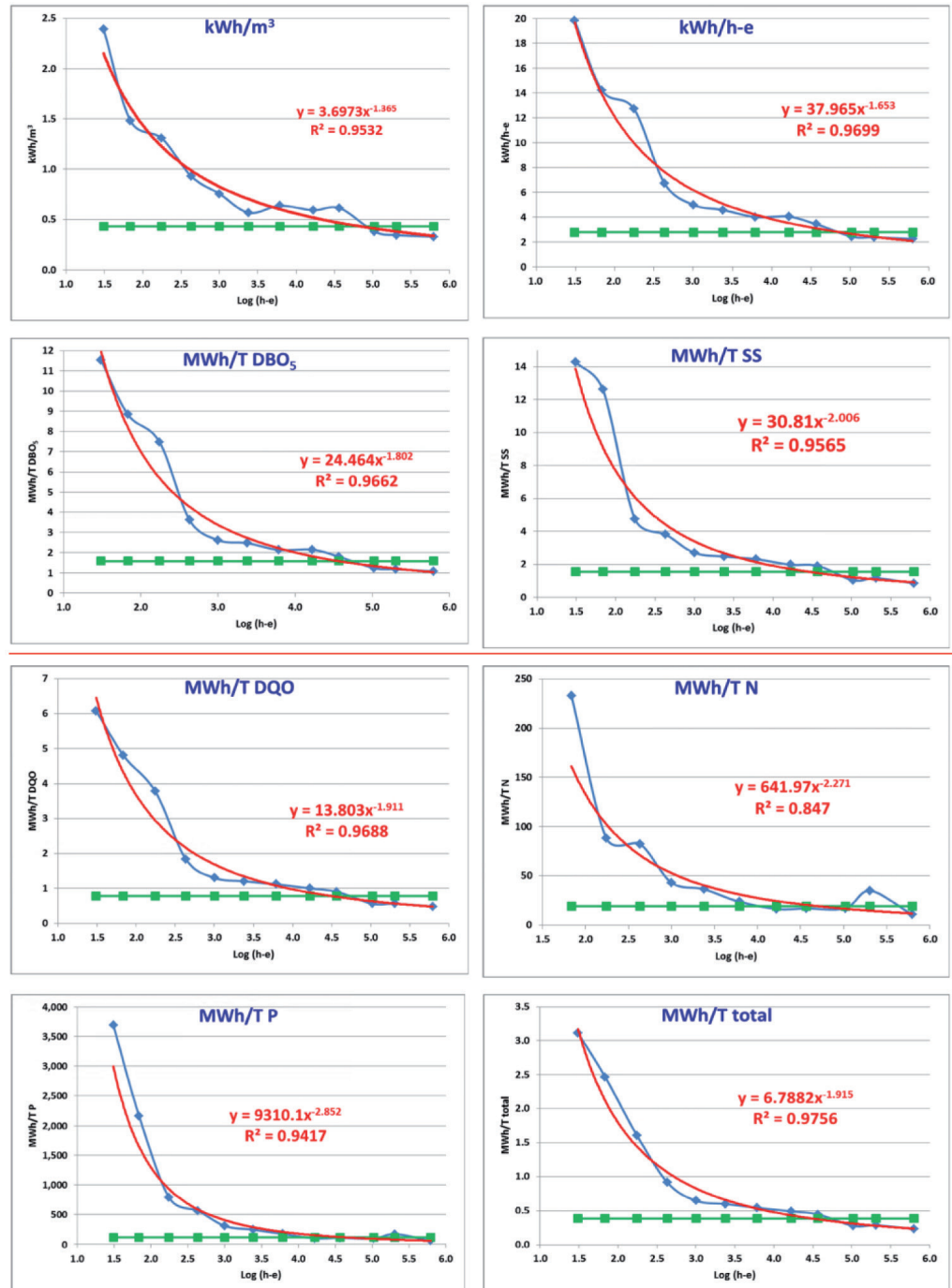


Fig. 4: Gráficas principales ratios consumo energético respecto Log (h-e), medias y ajustes

- **MWh/T DBO₅:**
 - o = 32,9980 X^{-1,8240} con X = Log (m³).
 - o = 24,4640 X^{-1,8020} con X = Log (h-e).
- **MWh/T SS:**
 - o = 53,3820 X^{-2,0960} con X = Log (m³).
 - o = 30,8100 X^{-2,0060} con X = Log (h-e).
- **MWh/T DQO:**
 - o Y = 18,7490 X^{-1,8950} con X = Log (m³).
 - o Y = 13,8030 X^{-1,9110} con X = Log (h-e).
- **MWh/T N:**
 - o Y = 1.814,6 X^{-2,6170} con X = Log (m³).
 - o Y = 641,97 X^{-2,2710} con X = Log (h-e).
- **MWh/T P:**
 - o Y = 17.321 X^{-2,8880} con X = Log (m³).
 - o Y = 9.310,1 X^{-2,852} con X = Log (h-e).
- **MWh/T total eliminada:**

$$\begin{aligned} &\text{o } Y = 9,9519 X^{-1,9430} \text{ con } X = \text{Log } (m^3). \\ &\text{o } Y = 6,7882 X^{-1,9150} \text{ con } X = \text{Log } (h-e). \end{aligned}$$

Considerando la evolución tecnológica en materia de depuración de aguas residuales, y el continuo crecimiento del número de EDAR, cada vez más eficientes y modernas, será conveniente ir ampliando el ámbito temporal y geográfico de la presente investigación a nivel general, intentando incluir más años en el estudio y más plantas de otros territorios. No obstante, es difícil hacer un análisis temporal específico según las diferentes metodologías de tratamiento o sistemas de aireación, ya que éstas van cambiando a lo largo del tiempo por la continua mejora y actualización de las EDAR y, aunque se ha intentado, no se ha conseguido obtener una evolución histórica exacta de la implantación de dichas tecnologías y sistemas en las plantas. Por consiguiente, la necesaria realización de estudios más específicos sobre consumos energéticos por tecnologías o sistemas de aireación utilizadas se intentará realizar en un futuro, pero siempre con un número mucho más restringido de EDAR y para un momento dado, ya que la información disponible sobre la implantación tecnológica es puntual para ese instante y con muy poca precisión temporal sobre el momento real de puesta en marcha y completo funcionamiento.

5. RECOMENDACIONES

Considerando que en todas las curvas de los ratios analizados se ha observado que el consumo energético siempre disminuye de forma exponencial cuando aumenta el tamaño de las EDAR, la primera recomendación que puede hacerse, a la vista de la investigación realizada, es que se debe tender a diseñar EDAR que traten el mayor número posible de habitantes equivalentes, para ser eficientes energéticamente, por lo que en la medida de lo posible se debe intentar concentrar los caudales de aguas residuales para optimizar el consumo energético por m^3 tratado, por habitante equivalente, por tonelada de DBO_5 tratada, por tonelada de SS tratada, etc.

Como se puede observar en todas las gráficas representadas de las curvas de los ratios pronosticadas en relación con los valores medios ponderados, a partir aproximadamente de los 100.000 habitantes equivalentes o de unos 500.000 m^3 mensuales, el consumo es menor de los ratios medios. El consumo energético se reduce debido a las sinergias que producen las economías de escala, y a que aumentan las posibilidades de rentabilizar la implantación de sistemas de cogeneración reutilizando el biogás producido (que dependerá de la naturaleza de los residuos, del tipo de digestión anaerobia utilizada y de que en las plantas de mayor tamaño se produce suficiente gas para alimentar los motores ya que la materia orgánica procesada permite tratamientos anaerobios mesófilos), y a que eso permite aprovechar el calor de los gases de escape de la combustión para aumentar el rendimiento de los digestores y el secado de los fangos. Evidentemente, además del ahorro energético en las grandes EDAR, se suman las sinergias en costes de empleados, de costes generales, de compra de productos,.... lo cual es la conclusión más importante de esta investigación, para planificadores y diseñadores de EDAR urbana.

Los parámetros fijados en el apartado anterior, servirán para comprobar si el diseño y la operación y mantenimiento de las EDAR es el adecuado o se está desviando.

Para EDAR pequeñas (menos de 500 h-e o menos de 1.000 m^3 mensuales), que no se puedan concentrar los caudales para tratarlos en EDAR de mayor capacidad, se deben utilizar otras metodologías y sistemas de depuración más eficientes energéticamente, ya que el consumo se puede elevar exponencialmente.

Existen diferentes metodologías (oxidación total, macrofitas, tanques imhoff, flujo pistón,...) que deberán ser seleccionadas según las condiciones de contorno que se tengan en cada caso, aunque energéticamente no sean tan eficientes, ya que pueden presentar otras ventajas como menor coste de operación y mantenimiento en dedicación de mano de obra, eliminación de fangos, uso de productos químicos...

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Simón-Andreu, P. "Eficiencia energética de las EDARs de la Región de Murcia". V Jornadas Técnicas de Saneamiento y Depuración, Murcia 2009. 41p.
- [2] 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
- [3] Racaño-Pérez, A "Optimización energética del tratamiento de lodos de la EDAR de Ceuti: control de la aireación mediante un sistema de controles adaptativo predictivo experto (ADEX)". V Jornadas técnicas de Saneamiento y Depuración, Murcia . 2009. (1p- 59p).
- [4] Ferrer-Torregrosa, C., Olovas-Masip, E., Chiva-Mengod, B., y otros "Análisis energético de los procesos de una EDAR", Revista Ingeniería del Agua 2004. 10p.
- [5] Zornoza, Andrés M. Tesis doctoral sobre el Análisis de las correlaciones entre los parámetros operacionales, físico-químicos y biológicos asociados al proceso de fangos activos. (2012)., 125p.
- [6] Instituto Diversificación y Ahorro de la Energía I.D.A.E. "Estudio de Prospectiva de Consumo Energético en el Sector del Agua", 2010. 111p.
- [7] John Wiley & Sons, Ltd et al. "Sturges' Rule". Wiley Stats Ref: Statistics Reference Online 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/9781118445112.stat02358>.

AGRADECIMIENTOS

A la Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales de la Comunidad Valenciana, España (EPSAR) y a la Entidad de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales de la Región de Murcia (ESAMUR), por haber facilitado los datos necesarios para realizar la presente investigación.