

ANALYSIS OF THE EVOLUTION OF FLOW THAT ENTER THE WASTEWATER TREATMENT PLANTS AND THE INFLUENCE OF THE SECONDARY SEDIMENTATION PROCESS

Moya Llamas, María José; Trapote Jaume, Arturo

Universidad de Alicante.- Instituto Universitario del Agua y las Ciencias Ambientales

A change in tendency has taken place with regard to the urban and industrial consumption of water in Spain, with an important decrease since 2005, resulting in that the flow entering the WWTPs has been reduced.

Also, the peak flow at present in the large urban agglomeration as well as in the small towns are notably below the theoretical coefficient of flow that are usually used for the dimensioning of the WWTPs

Nevertheless, from the analysis of a series of data of the flow and the amount of contaminants taken from 8 processing plants in the Province of Alicante it is concluded that the decrease in the flow does not maintain the same amount of contaminant charge.

The secondary sedimentation is a process where the variation of flow influences greatly. Different theoretical models are applied for the dimensioning of the secondary clarifier: one WWTP for a population superior to 100.000 h.e. and another one representing the smaller populations towns. The facilities for the secondary sedimentation function under oversizing conditions, the surfaces of the secondary clarifiers being excessive for the flow that enters at present, and the principal parameters of the dimensioning are far away from the recommendations found in the manuals.

Keywords: *Urban consumption; WWTP; Secondary sedimentation; Flow*

ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LOS CAUDALES DE ENTRADA A LAS EDARS E INFLUENCIA SOBRE LA DECANTACIÓN SECUNDARIA

Se ha producido un cambio de tendencia en cuanto al consumo urbano e industrial del agua en España, con un importante descenso desde 2005, a consecuencia del cual los caudales de entrada a las EDARs se reducen considerablemente.

Además, las puntas de caudal actuales tanto en grandes aglomeraciones urbanas como en pequeños municipios se alejan de los coeficientes punta teóricos habitualmente utilizados para el dimensionamiento de las EDARs.

Sin embargo, del análisis de la serie de datos de caudales y cargas contaminantes de 8 estaciones depuradoras de la provincia de Alicante se concluye que esta disminución de caudales no lleva aparejada la disminución de las cargas contaminantes en la misma medida.

La decantación secundaria es un proceso donde influyen en gran medida las variaciones de caudal. Se aplican los diferentes modelos teóricos de dimensionamiento del decantador secundario sobre: una EDAR para población superior a 100.000 h.e. y otra representativa de pequeñas poblaciones. Las instalaciones para la decantación secundaria funcionan en condiciones de sobredimensionamiento, siendo excesivas las superficies de los decantadores secundarios para el caudal de entrada actual y sus oscilaciones, y los principales parámetros de dimensionamiento se alejan de los recomendados en los manuales.

Palabras clave: *Consumo urbano; EDAR; Decantación secundaria; Caudal*

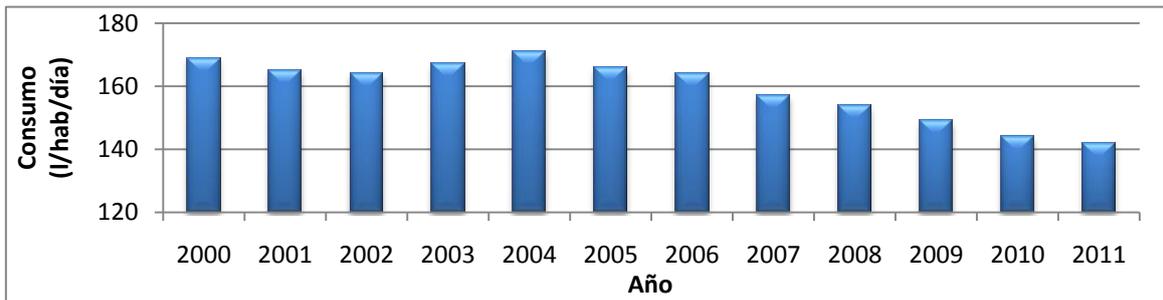
Correspondencia: Universidad de Alicante, Instituto Universitario del Agua y de las Ciencias Ambientales. Carretera de San Vicente del Raspeig s/n. C.P 03690. San Vicente del Raspeig, Alicante

1. Introducción

Del análisis de los datos extraídos de diferentes organismos y entidades estatales, comarcales y regionales relacionados con el agua, se confirma una retracción de la demanda de agua urbana desde el año 2004.

En el caso del consumo de agua urbano, se ha realizado un estudio de las encuestas que realiza el Instituto Nacional de Estadística [INE] sobre el consumo medio de agua en los hogares del período 2000-2010, deduciéndose que se ha producido un descenso desde 2004 de en torno al 15,8 % (figura 1).

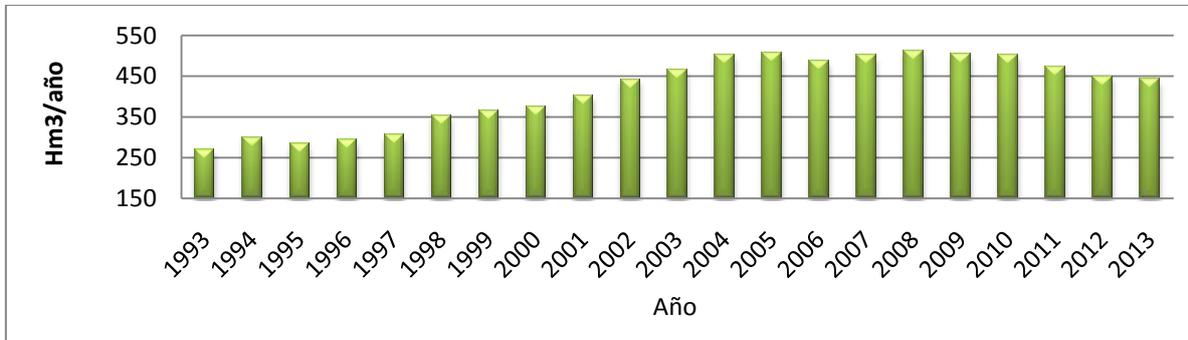
Figura 1. Consumo medio doméstico anual de agua en España (2000 a 2011)



Elaboración propia. (Fuentes: INE, Encuestas del agua 2000 a 2011 e INE, 2008).

A nivel autonómico, la figura 2 refleja los volúmenes de agua depurados (hm³/año) en la Comunidad Valenciana desde 1993 hasta 2013. A pesar del aumento de las instalaciones en servicio, se observa un cambio de tendencia a partir del año 2005 con un descenso más acusado a partir de 2010.

Figura 2. Volúmenes de agua tratada por las EDARs de la Comunidad Valenciana (1993 a 2013)



Fuente: Entitat Pública de Sanetjament d'Aigües Residuals, 2013

En cuanto a la demanda de agua urbana para uso industrial, organismos como la Demarcación Hidrográfica del Segura [DHS] confirman que se ha reducido en un 20% con respecto a las previsiones de su Plan de Cuenca (1998), como corroboran las encuestas realizadas por el INE en 1999 y en 2006 sobre el uso del agua en el sector industrial.

En consecuencia, se producirá una desviación entre los caudales que entran realmente en las estaciones depuradoras de aguas residuales y los previstos en su diseño. Esto incidirá tanto en el dimensionamiento de los diferentes procesos que conforman la depuración de las aguas residuales como en el funcionamiento de las unidades en servicio.

Las estaciones depuradoras se proyectan fundamentalmente a razón de los caudales de entrada a las mismas y sus oscilaciones, en base a la población cuyas aguas residuales

deberán ser tratadas, bien asignándole una dotación de agua potable o bien mediante el uso de diferentes fórmulas empíricas (figura 3).

Habitualmente se han utilizado modelos que presuponen dotaciones crecientes en el tiempo, como el de las Instrucciones para la Redacción de Proyectos de Abastecimiento y Saneamiento del Agua enunciadas por el MOPTMA en 1995. Sin embargo, según la XII Edición de la Encuesta de Suministro de Agua Potable y Saneamiento en España, realizada por la Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento [AEAS] y la Asociación Española de Empresas Gestoras de los Servicios de Agua a Poblaciones [AGA] (2012), la dotación media de agua en 2010 fue de 236 l/hab/día, lo cual supone una disminución del 24% entre 1987 y 2010.

En cuanto a las oscilaciones de los caudales, se denomina Coeficiente Punta o Factor de Hora Punta (Cp o FHP) a la relación entre la media de los caudales punta (máximos y mínimos) y el caudal medio de aguas residuales de la red de saneamiento.

$$FHP \text{ (o } C_p) = Q_{max}/Q_{med} \quad (1)$$

Los valores más generalizados de C_p están en función del tipo de actividad de la zona, con valores de 2,25 en EDARs de zonas residenciales, industriales y comerciales a la vez, de 2,40 en zonas residenciales y comerciales y de 3 en zonas exclusivamente residenciales. (Sandoval, 2012).

El caudal máximo suele determinarse mediante fórmulas matemáticas de tipo empírico. La figura 3, extraída del XXV Curso sobre tratamiento de aguas residuales y explotación de estaciones depuradoras. (CEDEX, 2007) presenta una revisión de las mismas.

Figura 3. Relación de fórmulas utilizadas para el cálculo del caudal punta y del caudal mínimo

	Fuente	Caudal punta QD_p (l/s)	Caudal mínimo QD_{min} (l/s)
Basadas en QD_p y en P_h	Giff (1945)	$QD_p = \frac{5}{P_h^{1.6}} QD_m$	$QD_{min} = \frac{P_h^{1.6}}{5} QD_m$
	Babit (1952)	$QD_p = \frac{5}{P_h^{0.20}} QD_m$	
	Stanley y Kaufman (1953)	$QD_p = (1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P_h}}) QD_m$	$QD_{min} = 0,50 QD_m$
Basadas solo en QD_m	Fair and Geyer (1954)	$QD_p = (1 + \frac{18 + \sqrt{P_h}}{4 + \sqrt{P_h}}) QD_m$	
	Catalá (1988)	$QD_p = (1,5 + \frac{2,5}{\sqrt{QD_m}}) QD_m$	
	MOPU (1983)	$QD_p = (1,15 + \frac{2,575}{QD_m^{0.25}}) QD_m$	
	Confederación Hidrográfica del Norte (1995)	$QD_p = QD_m + 2,6 \times (QD_m)^{0.7}$ si $QD_m > 2$ l/s $QD_p = 5,5 \times (QD_m)^{0.2}$ si $QD_m < 2$ l/s	$QD_{min} = 0,50 QD_m$
	ASCE Manual nº 60	$QD_p = (3,687 \cdot QD_m^{-0.073}) QD_m$	
	Gaines (1989)	$QD_p = 2,18 \cdot QD_m^{-0.064}$	
	AEAS (1992)	$QD_p = K_h \cdot K_s \cdot K_{est} \cdot QD_m$ (K_h de 1,4 a 1,8; K_s de 2,03 a 1,10 y K_{est} de 1,35 a 1,45)	
	Canal de Isabel II (2005)	$QD_p = 1,6(\sqrt{QD_m} + QD_m) < 3 \cdot QD_m$	

Donde:

QD_p : Caudal punta diario (l/s).

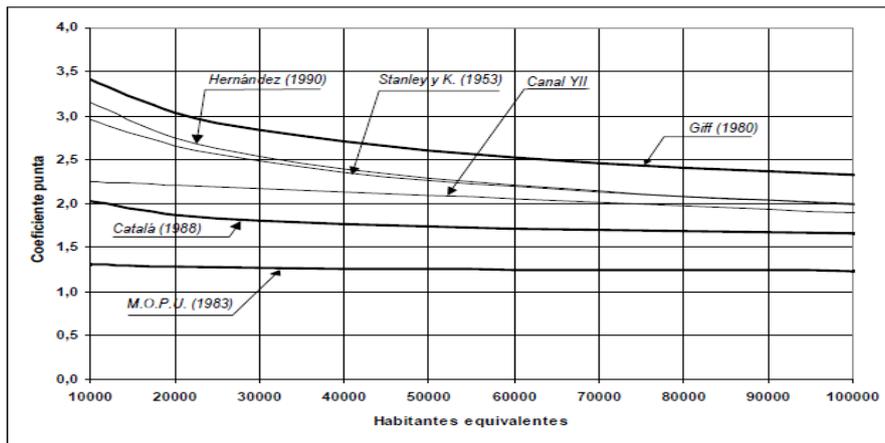
QD_m : Caudal medio diario (l/s).

QD_{min} : Caudal mínimo diario (l/s).

- P_h : Número de habitantes equivalentes (en millares).
- K_h : Coeficiente punta horario.
- K_s : Coeficiente punta semanal.
- K_{est} : Coeficiente punta estacional o anual.

En la figura 4 se representan las diferentes fórmulas para la obtención del Coeficiente Punta en función de la población.

Figura 4. Representación gráfica de los valores del Coeficiente Punta obtenidos mediante diferentes fórmulas para poblaciones de 10.000 a 100.000 habitantes

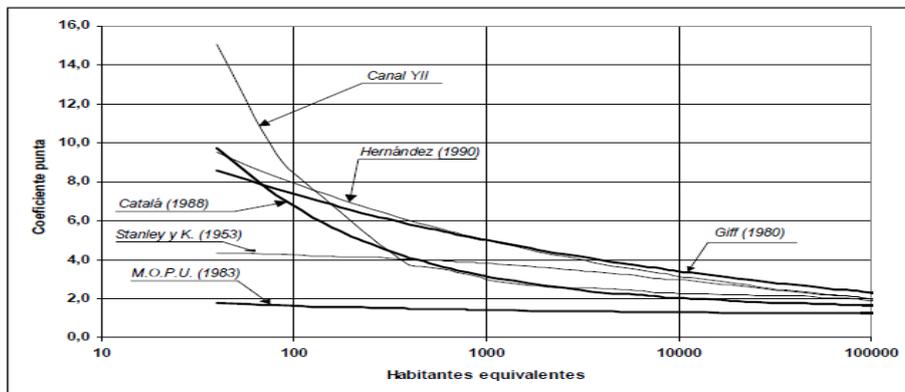


Fuente: CEDEX, 2007

Se observa que la fórmula de Giff (1980) ofrece valores del caudal punta por encima de la media de las fórmulas contempladas, mientras que la fórmula del M.O.P.U. da resultados muy por debajo del resto. Las fórmulas de Hernández (1990), Stanley y K. (1953) y Canal de Isabel II (1995) prácticamente convergen en un rango de población mayor de 10.000 h.e.

Estas fórmulas difieren notablemente en sus resultados a medida que la población decrece (figura 5), por lo que se desaconseja su aplicación en el caso de pequeñas aglomeraciones urbanas, debiendo realizarse en este caso estudios específicos.

Figura 5. Representación gráfica de la aplicación de diferentes fórmulas empíricas para el cálculo del coeficiente punta dentro del rango de población de las pequeñas poblaciones



Fuente: CEDEX, 2007.

No obstante, según Juan José Salas Rodríguez, del Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua [CENTA] (CEDEX, 2007), la relación entre el caudal punta y el medio en pequeñas poblaciones puede estimarse mediante la siguiente expresión empírica:

$$C_p=5/P^{1/6} \quad (2)$$

Otra consecuencia del cambio actual de tendencia es el aumento en la concentración de las cargas contaminantes de las aguas residuales urbanas ya que, debido al descenso de los caudales de entrada, se produce una menor dilución de los contaminantes generados.

Puesto que las EDARs en funcionamiento han sido dimensionadas en base a caudales teóricos, las diferentes etapas de tratamiento y depuración de las aguas residuales se verán afectadas en la situación actual, especialmente aquellas unidades que se diseñan fundamentalmente en función del caudal.

2. Objetivos

El objetivo fundamental del presente estudio es conocer la repercusión que la evolución actual de caudales puede suponer sobre uno de los procesos del tratamiento de las aguas residuales más influenciados por los caudales de entrada y sus oscilaciones, como es la decantación secundaria.

Puesto que los manuales de diseño habituales tienen como base de partida que los caudales de entrada a las EDARs mantienen una tendencia siempre creciente en el tiempo, se pretende también evidenciar el cambio de tendencia en este sentido.

Se estudiará en qué medida difieren los caudales medios y punta de entrada actuales de los teóricos mediante el examen de los datos de los últimos cinco años de ocho estaciones depuradoras de la provincia de Alicante de diferente naturaleza. Así se dirimirá también la expresión más adecuada para el cálculo del coeficiente punta en las actuales condiciones.

Otro objetivo de este trabajo es estudiar la diferente repercusión de todo lo antedicho sobre estaciones depuradoras de aguas residuales de distinto tamaño. Para ello contrastarán los resultados obtenidos de las EDAR de grandes municipios con los de aquellas de características típicas de pequeñas poblaciones.

Finalmente se analizará la sensibilidad de cada modelo teórico de dimensionamiento de la decantación secundaria a fin de determinar el modelo idóneo en las actuales condiciones.

3. Casos de estudio

En base a los datos facilitados por la Entitat Pública de Sanetjament d'Aigües Residuals [EPSAR] para esta investigación, se ha realizado el análisis y tratamiento de la serie de datos de caudales de entrada y cargas contaminantes de los últimos cinco años de ocho EDARs de la provincia de Alicante de diferente tipología:

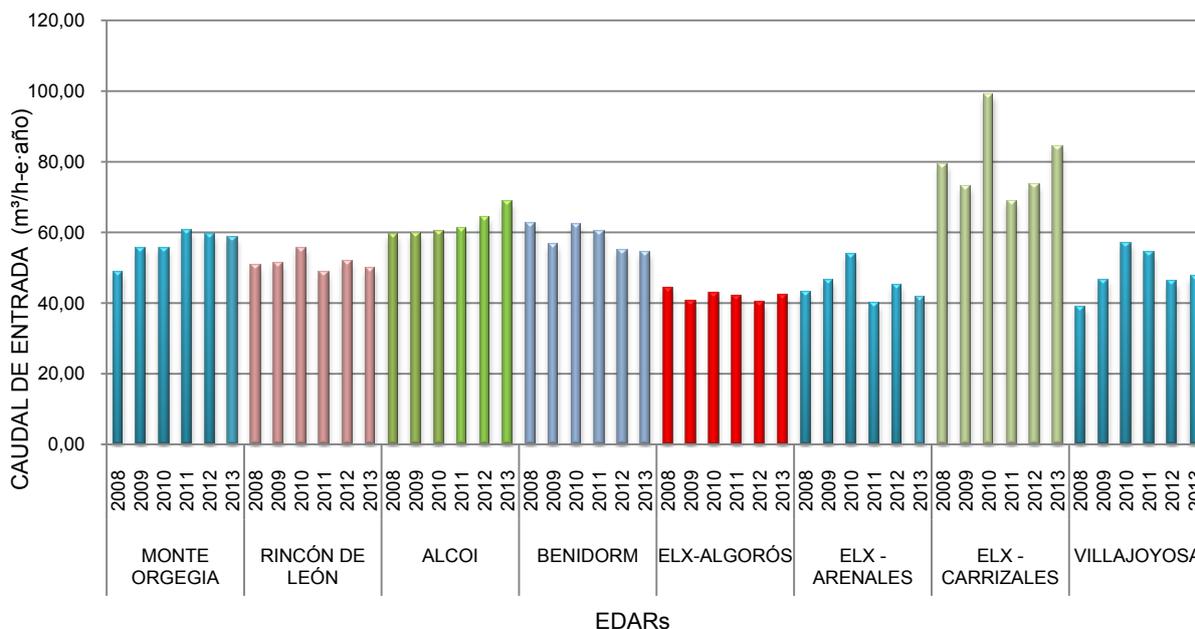
- EDARs de tipología urbana: EDAR Monte Orgegia (Alicante) y EDAR Rincón de León (Alicante).
- EDARs de tipología urbana+industrial: EDAR Alcoy y EDAR Elche-Algorós.
- EDARs de tipología turística: EDAR Benidorm (grandes poblaciones) y EDAR Villajoyosa (población de tamaño medio).
- EDARs de pequeñas aglomeraciones urbanas: Elche-Arenales y Elche-Carrizales.

La serie de datos facilitada incluye: los caudales medios de entrada anuales, la población (h.e.) y las concentraciones de las cargas contaminantes (DBO₅, DQO y sólidos en

suspensión) a la entrada y a la salida de la planta (tratamiento secundario), así como el rendimiento de su eliminación.

La figura 6 refleja la evolución de los caudales de entrada a las EDARs en estudio durante el período 2008-2013.

Figura 6. Evolución interanual de los caudales de entrada a las EDARs en estudio (período 2008-2013)



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos facilitados por la EPSAR (2013) para este estudio y de los datos de funcionamiento de 2013 (www.epsar.es).

Se verifica un descenso en los caudales de entrada a las EDARs analizadas desde el año 2010, confirmando la tendencia apuntada en la figura 2, con excepción de las EDAR de Alcoi y Elx-Algorós, de naturaleza eminentemente industrial, y la EDAR Elx-Carrizales, representativa de pequeños municipios.

Se han tratado los datos a fin de deducir la evolución de las concentraciones de las cargas contaminantes frente a la evolución de los caudales de entrada de las EDARs en estudio. Se confirma que el descenso de los caudales de entrada no lleva aparejada una disminución de las cargas contaminantes en la misma medida, es decir, la disminución del consumo urbano de agua conlleva un aumento en la concentración de las cargas contaminantes de las aguas residuales ya que, de manera general, se produce una menor dilución de las mismas. Este hecho repercutirá especialmente en el decantador primario ya que hará variar la velocidad ascensional y los tiempos de espesamiento hasta alcanzar las concentraciones del efluente decantado requeridas para su entrada al proceso biológico, no influyendo de manera significativa sobre el dimensionamiento del proceso de decantación secundaria. No obstante, el estudio en profundidad de la evolución de las concentraciones y su repercusión sobre el proceso de decantación primaria queda a expensas de su desarrollo en posteriores investigaciones.

A fin de contrastar los caudales máximos teóricos con los caudales máximos que realmente se han producido en los últimos años y dirimir la idoneidad de las citadas fórmulas, la tabla 1 resume el resultado de la aplicación de cada una de ellas a las EDARs en estudio. Para ello se ha tomado como referencia los datos del año 2012 de cada una de las estaciones.

Tabla 1. Cálculo del caudal punta de entrada en 2012 y del coeficiente punta para diferentes EDARs de la provincia de Alicante

			MONTE ORGEZIA	RINCÓN DE LEÓN	ALCOY	BENIDORM	ELCHE- ALGORÓS	ELCHE- ARENA- LES	ELCHE- CARRIZALES	VILLA- JOYOSA
DATOS	Caudal de entrada (Qmed)	Qmed (m ³ /día)	21,613	52,788	17,691	35,368	22,632	3,042	0,843	8,608
		Qmed (l/s)	250.15	610.97	204.76	409.35	261.94	35.21	9.76	99.63
	Población	he	132 544	372 222	100 585	235 471	205 973	24 641	4 188	68 230
FÓRMULAS BASADAS EN Qmed y POBLACION	Giff	Qp (l/s)	553.92	1139.00	474.74	823.65	538.94	103.20	38.43	246.43
		Cp	2.21	1.86	2.32	2.01	2.06	2.93	3.94	2.47
	Babit	Qp (l/s)	470.65	935.04	407.10	686.56	451.25	92.74	36.63	214.07
		Cp	1.88	1.53	1.99	1.68	1.72	2.63	3.75	2.15
	Stanley & Kaufman	Qp (l/s)	475.91	978.19	409.09	705.60	461.77	90.20	32.35	213.40
		Cp	1.90	1.60	2.00	1.72	1.76	2.56	3.32	2.14
FÓRMULAS BASADAS SÓLO EN Qmed	Fair & Geyer	Qp (l/s)	726.06	1589.16	613.84	1114.95	723.72	125.41	42.11	313.03
		Cp	2.90	2.60	3.00	2.72	2.76	3.56	4.32	3.14
	Catalá	Qp (l/s)	414.77	978.25	342.91	664.61	433.38	67.65	22.44	174.40
		Cp	1.66	1.60	1.67	1.62	1.65	1.92	2.30	1.75
	MOPU	Qp (l/s)	405.26	932.35	336.66	640.88	422.96	67.51	21.54	173.53
		Cp	1.62	1.53	1.64	1.57	1.61	1.92	2.21	1.74
	Conf. Hidrográfica del Norte	Qp (l/s)	374.23	842.81	312.61	584.51	390.09	66.66	22.57	164.77
		Cp	1.50	1.38	1.53	1.43	1.49	1.89	2.31	1.65
	ASCE (Manual nº 60)	Qp (l/s)	616.32	1410.31	511.91	972.94	643.21	100.10	30.46	262.53
		Cp	2.46	2.31	2.50	2.38	2.46	2.84	3.12	2.64
	Canal de Isabel II	Qp (l/s)	425.55	1017.10	350.51	687.33	445.01	65.83	20.61	175.38
		Cp	1.70	1.66	1.71	1.68	1.70	1.87	2.11	1.76

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos facilitados por la EPSAR, 2013 para la presente investigación

La aplicación de las fórmulas de Fair & Geyer y de ASCE (Manual nº 60) ofrecen valores de Q_p y C_p que superan en exceso la media, resultando inadecuadas en las actuales condiciones. Descartando ambas fórmulas y realizando nuevamente la media de los caudales punta Q_p y de los coeficientes punta C_p :

Tabla 2. Cálculo de Q_p medio de entrada y C_p medio para diferentes EDARs de la provincia de Alicante

	MONTE ORGEGIA	RINCÓN DE LEÓN	ALCOY	BENIDORM	ELCHE-ALGORÓS	ELCHE-ARENALES	ELCHE-CARRIZALES	VILLAJ O-YOSA
Q_p medio (l/s)	445.75	974.68	376.23	684.74	449.06	79.11	27.80	194.57
C_p medio	1.78	1.60	1.84	1.67	1.71	2.25	2.85	1.95

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la tabla 8.

Las EDARs de pequeñas aglomeraciones urbanas dan resultados muy por encima de la media, lo que se debe descartar la aplicación de estas fórmulas a este tipo de poblaciones.

Se aconseja el empleo de la fórmula 2, enunciada por Juan José Salas Rodríguez (CEDEX, 2007).

Considerar el coeficiente punta en función del tipo de actividad de la zona supone el sobredimensionamiento de las instalaciones en las actuales condiciones por lo que se debe realizar un estudio previo y así seleccionar la fórmula que se ajuste en mayor medida a los caudales punta de entrada reales. Se confirma la fórmula del Canal de Isabel II como la más adecuada en la actualidad.

A fin de conocer la incidencia de todo lo antedicho sobre el proceso de decantación secundaria, se ha dimensionado una EDAR de tipología urbana con una población superior a los 100.000 habitantes equivalentes (EDAR de Monte Orgegia) y la EDAR Elx-Carrizales, con una población de 4.000 h.e. y representativa de pequeños núcleos urbanos.

La decantación secundaria tiene como objetivo separar la fase sólida más pesada (masa de lodo) de la fase líquida más ligera del efluente degradado biológicamente en el reactor, mediante la fuerza de la gravedad. Esto se lleva a cabo en los decantadores secundarios, los cuales cumplen tres funciones: clarificar el efluente, espesar el fango y, aunque menos importante, almacenar los lodos en períodos de alto flujo. (Takács y Ekama, 2008)

Los principales modelos teóricos de dimensionamiento de los decantadores secundarios son: el Método Tradicional, el cual atiende a dos criterios: clarificación del efluente y espesamiento de fangos; el Método de la Norma Alemana ATV-A13, fundamentado en los Índices Volumétricos de Fangos; el Método de la Ecuación de White (1976), basada en la teoría del flujo másico; y los Métodos gráficos incluidos en el Manual of Practice FD-8 (WEF, 2005), entre ellos el Modelo de Daigger (1995) y Modelo de Keinath (1990).

Se ha llevado a cabo el dimensionamiento del decantador secundario de estas estaciones mediante los distintos modelos teóricos a fin de extraer conclusiones en cuanto a la sensibilidad de cada uno de ellos frente a la situación actual, analizando comparativamente los principales parámetros de diseño: superficie mínima requerida para la decantación secundaria, Tasa Superficial (también denominada Carga Superficial o Velocidad Ascensional) y Tiempo de Retención.

En la aplicación de cada modelo de dimensionamiento se han analizado tres situaciones diferentes:

- Situación 1: Dimensionamiento teórico del decantador secundario considerando los caudales de entrada que se dieron en el año 2008 y los coeficientes punta teóricos.
- Situación 2: Partiendo del decantador secundario dimensionado para la situación 1 se consideran los caudales de entrada del año 2012 y el coeficiente punta real. De esta forma se simulan las condiciones actuales sobre un decantador dimensionado cinco años atrás en base a la tendencia creciente de caudales y a los coeficientes punta teóricos.

- Situación 3: Dimensionamiento del decantador secundario para las condiciones actuales: caudales del año 2012 y el coeficiente punta que más se ajusta a la tendencia actual.

Para ello se ha confeccionado una hoja de cálculo para cada modelo de dimensionamiento y, a su vez, para cada situación descrita.

En cuanto a las concentraciones de los efluentes, con respecto al caudal de entrada al decantador secundario procedente del proceso biológico, al tratarse de EDARs de tipología urbana fundamentalmente, se ha supuesto una concentración de sólidos en suspensión en el licor-mezcla media de valor 2.900 mg/l y constante (dado que ninguno de modelos de dimensionamiento considera su variabilidad temporal). En lo referente al efluente decantado, el objetivo del decantador secundario es conseguir en la corriente clarificada una composición de sólidos en suspensión igual o inferior a 20 mg/l, por lo que ha considerado este valor.

4. Resultados y discusión

A continuación se resumen los resultados de los principales parámetros de diseño del proceso de decantación secundaria de las dos estaciones en estudio obtenidos mediante la aplicación de los modelos teóricos citados y en las tres situaciones consideradas.

- Superficies mínimas para la decantación secundaria.

Tabla 3. Superficies mínimas requeridas para las dos EDARs en estudio

EDAR	SITUACIÓN	CAUDAL DE ENTRADA (l/s)	C _p	SUPERFICIES MÍNIMAS (m ²)				
				Método Tradicional	ATV-A131	Ecuación de White	MOP FD-8. Daigger	MOP FD-8. Keinath
MONTE ORGEGIA	Situaciones 1 y 2:	351.00	2.40	2021.76	1934.82	1969.30	Resultado ilógico	Fuera de rango
	Situación 3:	250.15	1.78	1125.68	1023.84	1042.12	Resultado ilógico	Fuera de rango
ELX-CARRIZALES	Situaciones 1 y 2:	8.63	3.00	62.17	59.50	60.56	Resultado ilógico	Fuera de rango
	Situación 3:	9.76	3.94	92.22	88.25	89.84	Resultado ilógico	Fuera de rango

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 3 se deduce que, para la tendencia actual en cuanto a la evolución de caudales, en el caso de grandes poblaciones las dimensiones mínimas requeridas para la decantación secundaria son muy inferiores (en torno a un 47% menores) a las obtenidas para los caudales de entrada superiores y Coeficiente Punta teórico en función de la actividad de la zona.

En las estaciones de pequeñas aglomeraciones urbanas el caudal medio ha seguido una evolución creciente en los últimos años. Esto unido a que C_p teórico en función de la actividad en estas poblaciones es C_p=3 (Situación 1) mientras que el calculado mediante las recomendaciones del CENTA (Martín, I. et al., 2006) es C_p=3.90 da lugar a superficies mínimas requeridas mayores en las actuales circunstancias.

- Tasa Superficial (Velocidad Ascensional).

Las tabla 4 resume los resultados de la Tasa Superficial para el caudal máximo y para el caudal medio de entrada respectivamente.

Tabla 4. Valores de la Tasa Superficial (o Velocidad Ascensional) a caudal máximo y medio para las dos EDARs en estudio

EDAR	SITUACIÓN	CAUDAL DE ENTRADA (l/s)	C _p	TASA SUPERFICIAL (m ³ /m ² ·h)				
				Método Tradicional	Método ATV-A131	Método Ecuación de White	Método MOP FD-8. Daigger	Método MOP FD-8. Keinath
MONTE ORGEGIA	Situación 1:	351.00	2.40	1.430	1.490	1.490	Resultado ilógico	Fuera de rango
	Qmax			0.5996	0.621	0,621		
	Qmed							
	Situación 2:	250.15	2.40	0.757	0.788	0.788	Resultado ilógico	Fuera de rango
	Qmax			0.425	0.442	0.442		
	Qmed							
	Situación 3:	250.15	1.78	1.401	1.511	1.511	Resultado ilógico	Fuera de rango)
	Qmax			0.786	0.848	0.848		
	Qmed							
ELX-CARRIZALES	Situación 1:	8.63	3.00	1.187	1.466	1.466	Resultado ilógico	Fuera de rango)
	Qmax			0.396	0.489	0.489		
	Qmed							
	Situación 2:	9.76	3.00	1.761	2.174	2.174	Resultado ilógico	Fuera de rango
	Qmax			0.447	0.552	0.552		
	Qmed							
	Situación 3:	9.76	3.94	1.223	1.456	1.456	Resultado ilógico	Fuera de rango
	Qmax			0.311	0.370	0.370		
	Qmed							

Fuente: Elaboración propia.

Nótese que los valores obtenidos mediante el método de la ATV-A131 y mediante la Ecuación de White coinciden. Esto es así dado que se obtiene el mismo resultado para las superficies proyectadas en ambos métodos y que la profundidad ha sido calculada por el mismo procedimiento dado que el Método de la Ecuación de White no proporciona ninguna metodología de cálculo específica en cuanto a profundidades se refiere.

Para el proceso de Fangos Activos Convencional la Tasa Superficial debe mantenerse con valores entre 1,695 y 2,035 m³/m²·h (Metcalf & Eddy, 2000), intervalo que se incumple para la Situación 2 en el caso de grandes poblaciones. Es decir, cuando la instalación funciona en condiciones de sobredimensionamiento la velocidad ascensional desciende excesivamente, lo cual redundará en tiempos de retención demasiado altos (tabla 5).

A caudal medio los valores de la Tasa Superficial en estaciones depuradoras de grandes poblaciones también se sitúan fuera del rango de valores recomendados (entre 0.678 y 1.356 m³/m²·h).

Para pequeños núcleos urbanos sucede al contrario, la Tasa Superficial aumenta considerablemente en las actuales condiciones.

Sin embargo, mientras a caudal máximo los valores de la Tasa Superficial se encuentran dentro del rango de valores recomendados para el proceso de Fangos Activos con Aireación Prolongada (<1.50 m³/m²·h) en las Situaciones 1 y 3, a caudal

medio son muy inferiores al rango de valores recomendados (entre 0.678 y 1.356 m³/m²·h).

- Tiempo de Retención.

A continuación se reflejan los resultados obtenidos para ambas EDARs en cuanto al Tiempo de Retención a caudal máximo y medio respectivamente.

Tabla 5. Valores del Tiempo de Retención a caudal máximo para las dos EDARs en estudio

EDAR	SITUACIÓN	CAUDAL DE ENTRADA (l/s)	C _p	TIEMPO DE RETENCIÓN (h) A CAUDAL MÁXIMO				
				Método Tradicional	Método ATV-A131	Método Ecuación de White	Método MOP FD-8. Daigger	Método MOP FD-8. Keinath
MONTE ORGEGIA	Situación 1:	351.00	2.40	1.748	1.934	1.934	Resultado ilógico	Fuera de rango
	Q _{max}			4.196	4.642	4.642		
	Q _{med}							
	Situación 2:	250.15	2.40	3.304	3.655	3.655	Resultado ilógico	Fuera de rango
	Q _{max}			5.887	6.513	6.513		
	Q _{med}							
Situación 3:	250.15	1.78	2.141	2.026	2.026	Resultado ilógico	Fuera de rango	
Q _{max}			3.815	3.610	3.610			
Q _{med}								
ELX-CARRIZALES	Situación 1:	8.63	3.00	1.516	2.342	2.342	Resultado ilógico	Fuera de rango
	Q _{max}			0.396	0.489	0.489		
	Q _{med}							
	Situación 2:	9.76	3.00	1.022	1.579	1.579	Resultado ilógico	Fuera de rango
	Q _{max}			0.447	0.552	0.552		
	Q _{med}							
Situación 3:	9.76	3.94	1.553	2.325	2.325	Resultado ilógico	Fuera de rango	
Q _{max}			0.311	0.370	0.370			
Q _{med}								

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que para la estación representativa de grandes poblaciones los Tiempos de Retención en situación de sobredimensionamiento superan los valores máximos recomendados (a caudal máximo $t_R < 2$ horas y a caudal medio $t_R < 3$ horas).

En el caso de la EDAR Elx-Carrizales (pequeñas poblaciones), los Tiempos de Retención a caudal máximo se mantienen cerca del rango recomendado, sin embargo a caudal medio se dan Tiempos de Retención excesivamente altos derivados de los bajos valores de la Tasa Superficial a caudal medio.

5. Conclusiones

Del análisis realizado en este estudio de los datos de diferentes organismos tanto estatales como autonómicos relacionados con la gestión del agua urbana se confirma una retracción de la demanda en los últimos años. En el caso del consumo urbano del agua este descenso se cifra en un 15,8% desde el año 2004. En cuanto a la demanda de agua urbana para uso industrial, se confirma una reducción de un 20%. En el presente estudio se ha puesto

también de manifiesto que no se trata de una situación coyuntural, sino de un cambio de tendencia que se prevé que continúe en los próximos años.

A consecuencia de ello, los volúmenes de agua a tratar por las estaciones depuradoras han descendido a partir de 2005 a pesar del aumento de instalaciones en servicio (EPSAR, 2013). El análisis de la serie de datos de caudales y cargas contaminantes de ocho depuradoras de la provincia de 2008 a 2013 lo corrobora.

Sin embargo, del estudio de la evolución de las concentraciones de las cargas contaminantes se concluye que la disminución de los caudales a tratar no lleva aparejada la disminución de las cargas contaminantes en la misma medida, lo cual tendrá especial influencia sobre el decantador primario, dejando este punto a expensas de futuras investigaciones.

En EDARs de pequeñas poblaciones este análisis es más complejo dada la gran disparidad en cuanto a las características propias de estos núcleos de población. No obstante, se concluye que en las EDARs de pequeños núcleos urbanos analizadas la evolución de caudales se ha mantenido creciente en los últimos 5 años.

En lo relativo a las oscilaciones de los caudales de entrada a las EDARs, en el caso de diseño y dimensionamiento de nuevas instalaciones se recomienda no acudir a coeficientes punta teóricos en función de la actividad de la zona, sino calcularlos de manera más exhaustiva mediante la aplicación de las fórmulas como la del Canal de Isabel II (1995), en el caso de grandes poblaciones, o la fórmula propuesta por el CENTA (Martín, I. et al., 2006) en el caso de pequeñas aglomeraciones urbanas.

En cuanto a la incidencia de la evolución actual de caudales sobre las EDARs, se ha llevado a cabo el análisis sobre uno de los procesos más influenciados por los caudales de entrada, como es la decantación secundaria.

Del dimensionamiento de la decantación secundaria de dos estaciones de diferente naturaleza: la EDAR Monte Orgegia, representativa de grandes poblaciones, y la EDAR Elx-Carrizales, característica de pequeños núcleos urbanos, mediante los modelos de dimensionamiento teóricos más frecuentes se extraen las siguientes conclusiones: el Método Tradicional está muy influenciado por los caudales de entrada, por lo que no se recomienda su uso en las actuales condiciones, el Método de la Ecuación de White (1976) atiende únicamente al criterio de espesamiento, y la aplicación de los métodos gráficos MOP FD-8 (WEF, 2005) a las EDARs en estudio ofrece resultados ilógicos (Daigger) e incluso fuera de rango (Keinath). El método más adecuado para el cálculo de la decantación secundaria en las actuales condiciones de disminución de los caudales de entrada es el de la ATV-A131 (2000) dado que se basa fundamentalmente en la sedimentabilidad del fango, resultando menos influenciado por el caudal de entrada. Su aplicación a pequeñas poblaciones confirma también su idoneidad.

En cuanto a los principales parámetros de diseño de la decantación secundaria, mientras el caudal máximo limita las dimensiones mínimas de la decantación secundaria en los diferentes modelos de dimensionamiento, el caudal medio ejerce mayor influencia sobre los principales parámetros de diseño.

Como conclusión final, la disminución de los caudales de entrada a las EDARs tiene como consecuencia el sobredimensionamiento de las instalaciones en funcionamiento, puesto que las superficies de los decantadores secundarios son excesivas actualmente. En consecuencia, los parámetros de diseño se alejan de los recomendados en los manuales, con Velocidades Ascensionales (Tasa Superficial) demasiado bajas a caudal medio, lo que redundaría en Tiempos de Retención tan dilatados que resultan prácticamente inviables, convirtiendo a los decantadores prácticamente en espesadores del fango.

6. Bibliografía

- AEAS y AGA (2012). *XII Edición de la Encuesta de Suministro de Agua Potable y Saneamiento en España*. Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento, y Asociación Española de Empresas Gestoras de los Servicios de Agua a Poblaciones.
- ATV-A131 (2000). *Dimensionamiento de plantas de fangos activos de una etapa*. Asociación Alemana del Agua, Aguas Residuales y Residuos (DWA).
- Canal de Isabel II (1995). *Normas para el abastecimiento de agua*. Madrid.
- Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas [CEDEX], (2007). XXV Curso sobre tratamiento de aguas residuales y explotación de estaciones depuradoras.
- Daigger, G.T. (1995). *Development of refined clarifier operating diagrams using an updated settling characteristics database*. Water Environment Research, Vol. 67. No. 1.
- Demarcación Hidrográfica del Segura (2013). *Esquema de Temas Importantes*. Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura.
- Entitat Pública de Sanetjament d'Aigües Residuals (EPSAR) (2012). *Memoria de Gestión 2012*.
- Entitat Pública de Sanetjament d'Aigües Residuals (EPSAR) (2013). *Memoria de Gestión 2013*.
- Instituto Nacional de Estadística (2008). *Cifras INE*. Boletín informativo 1/2008.
- Instituto Nacional de Estadística (2009). *Encuesta sobre el uso del agua en el sector industrial de 2006*. Estadísticas y Cuentas Medioambientales. Madrid.
- Instituto Nacional de Estadística (2013). *Encuestas sobre suministro y saneamiento del agua de 2000 a 2010*. Notas de prensa publicadas de fecha 12 de Diciembre de 2002, 1 de Julio de 2003, 1 de Julio de 2004, 3 de agosto de 2005, 17 de agosto de 2006, 17 de Julio de 2008, 17 de Julio de 2009, 20 de Julio de 2010, 27 de Junio de 2011 y 5 de Julio de 2012. Disponibles en: www.ine.es/prensa/prensa.htm
- Keinath, T.M. (1990). *Diagram for designing and operating secondary clarifiers according to the thickening criterion*. Journal Water Pollution Control Federation, Vol. 62. No.3.
- Martín, I., Betancort, J.R., Salas, J.J., Peñate, B., Pidre, J.R., y Sardón, N., 2006. *Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población*. Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua e Instituto Tecnológico de Canarias.
- Metcalf & Eddy (2000). *Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización*. 3ª Edic. Ed. McGraw Hill. Madrid.
- Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente [MOPTMA] (1995). *Instrucciones para la Redacción de Proyectos de Abastecimiento y Saneamiento del agua*. Madrid.
- Sandoval, J.C., (2012). *Apuntes de depuración de aguas residuales*. Departamento de Ingeniería de la Construcción. Área de Hidráulica. Universidad de Alicante.
- Takács, I., Ekama, G. A.,(2008). *Final Settling. Biological Wastewater Treatment. Principles, Modelling and Design*. IWA Publishing, London.
- Water Environment Federation, (2005). *Clarifier Design*. Manual of Practice N° FD-8, 2nd. Ed. McGraw Hill. New York.