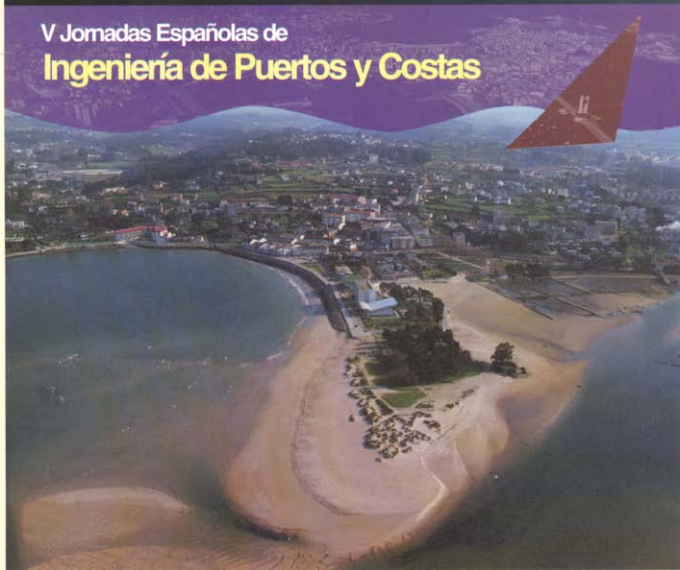




UNIVERSIDADE DA CORUÑA
E. T. S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos



V Jornadas Españolas de
Ingeniería de Puertos y Costas



MODELOS DE PREDISEÑO DE TANQUES DE TORMENTA DE REDES DE SANEAMIENTOS LITORALES, ATENDIENDO A LA CALIDAD BACTERIOLÓGICA DEL MEDIO RECEPTOR. RESULTADOS PRELIMINARES.

G. de Frutos, J.A. Revilla, L.M. Azpiazu, A. García, S. Vassileva, T. Soriano, J.A. Juanes, C. Álvarez.

Dpto. de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente. E.T.S. Ingenieros de Caminos, C. y P.
Universidad de Cantabria. Avda. Los Castros, s/n 39005 Santander.
E-mail: gema@emisarios.unican.es

RESUMEN

Los tanques de tormenta son estructuras que permiten el control de la contaminación producida por los alivios vertidos al medio receptor (río, lago, mar, etc.) en un saneamiento. Existen diferentes métodos para el diseño de los mismos, entre los que cabe señalar las normas Alemana, Francesa e Inglesa, las cuales se basan en la protección de los ríos y lagos frente al vertido de materia orgánica. Dichas normativas han sido ampliamente utilizadas en zonas geográficamente distintas a las que motivaron su desarrollo debido a su sencillez, sin que se haya comprobado, exhaustivamente, la validez de los resultados que se obtienen de su aplicación.

En el Cantábrico se han dimensionado un total de 75 tanques de tormenta en siete saneamientos litorales, mediante el empleo de una compleja metodología que atiende a las condiciones ambientales del medio receptor de alivios y vertidos. En todos ellos, los factores críticos de diseño están relacionados con el control de la contaminación bacteriológica en las aguas de baño y en las zonas de producción de moluscos.

La comparación de resultados que se obtienen por aplicación de dicha metodología y de las normativas europeas, proporciona valores sustancialmente diferentes entre unos y otros. En este estudio se ha desarrollado, con base en la información disponible, un método de prediseño de estas estructuras, que permite determinar su caudal de regulación y volumen de almacenamiento en función de variables como la población, el tiempo de concentración, etc. Dicho modelo sería aplicable al cálculo de nuevos saneamientos en el Cantábrico y de otros situados en zonas de características pluviométricas, hidrológicas y ambientales similares.

INTRODUCCIÓN

El dimensionamiento ambiental de un saneamiento se basa en el análisis de la capacidad de admisión por el medio receptor de la totalidad de los efluentes producidos por el sistema, entre los que se encuentran los alivios de tormenta. Estos alivios están provocados por la necesaria limitación

de la capacidad de los interceptores para admitir, además de las aguas residuales generadas en tiempo seco, la escorrentía producida en tiempo de lluvia.

Los tanques de tormenta son elementos eficaces para el control de la contaminación que se deriva a los medios receptores a través de dichos alivijs. Las variables básicas de diseño de estos elementos son dos: el caudal de regulación que se incorpora al interceptor aguas abajo del mismo y el volumen de almacenamiento.

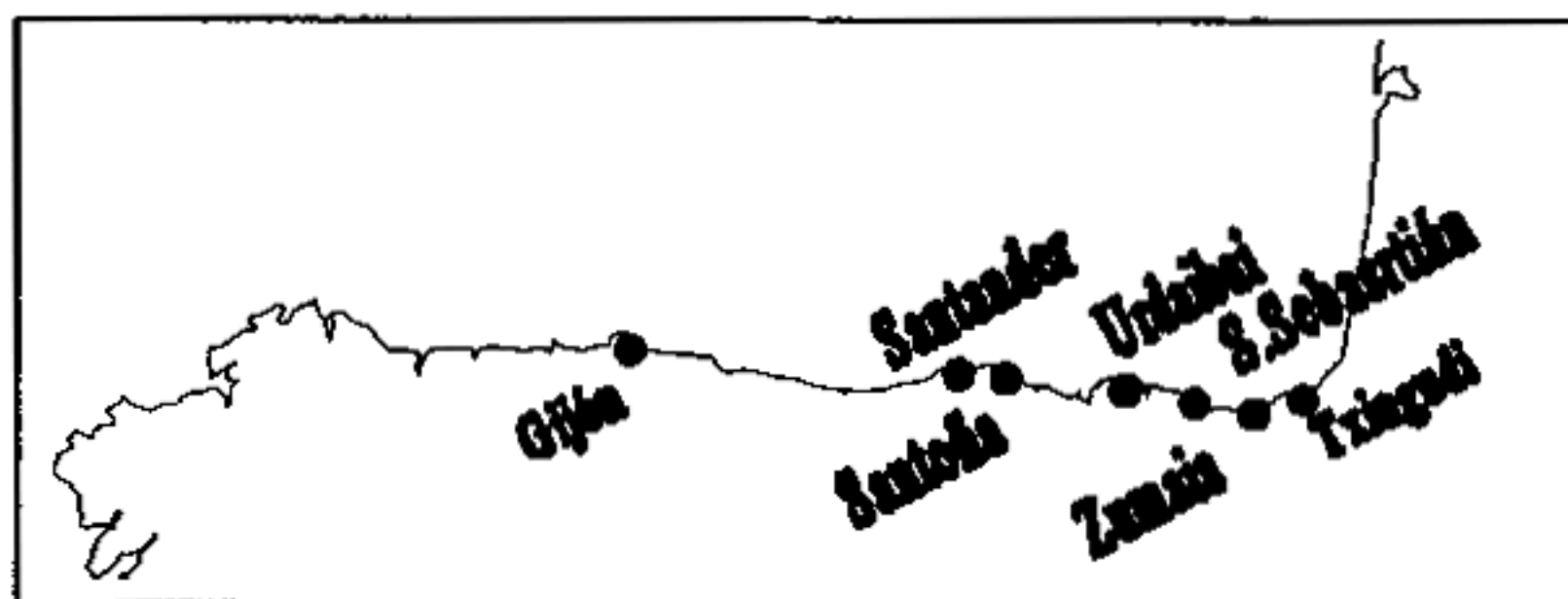
Existen varios métodos que permiten el cálculo de estas variables con criterios de tipo hidráulico, hidrológico o medioambiental. Entre los que consideran este último aspecto cabe señalar, por su amplia difusión, los métodos de diseño recogidos en las normas Alemana (ATV-128, 1992), Francesa (*Ministère de l'agriculture*, 1988) e Inglesa (*British Standard Sewerage*, 1987).

Estas normativas tienen, en su origen, el objetivo de asegurar el control de la materia orgánica vertida hacia las aguas continentales (ríos y lagos). Los métodos que contienen son de aplicación sencilla lo que justifica, probablemente, su habitual empleo en el estudio de sistemas de saneamiento en ámbitos geográficos diferentes a los que motivaron su desarrollo, e incluso en saneamientos en zonas litorales.

Algunas de estas normas se han utilizado profusamente en España para el dimensionamiento de redes de colectores, aliviaderos y tanques de tormenta en sistemas unitarios, sin que hasta el momento se haya comprobado la validez de los resultados que de ellas se desprenden.

En el litoral Cantábrico se ha abordado, en los últimos años, el estudio de varios saneamientos bajo la perspectiva medioambiental señalada. En la figura 1, se recogen los que han servido de base para el desarrollo de los estudios que se presentan en este artículo.

Figura 1. Ubicación de los siete saneamientos estudiados en el litoral Cantábrico.



El diseño de los mismos se ha llevado a cabo mediante la aplicación de una metodología específica (Revilla *et al*, 1994, Álvarez, 1996) que analiza las peculiaridades propias del medio marino como receptor de los efluentes residuales. Esta metodología contempla las condiciones locales de cada zona, atendiendo a sus características pluviométricas, hidrológicas, hidrodinámicas y medioambientales. Su aplicación ha supuesto la recopilación de extensas bases de datos, la

aplicación de complejos modelos matemáticos y la comprobación de diversos criterios de calidad ambiental.

Con base en los resultados de los diseños realizados, cabe plantearse, en primer lugar, la comparación de los mismos con los que se obtendrían de la utilización de las normativas europeas existentes en la actualidad, al objeto de determinar el grado de aplicabilidad de las mismas.

Por otro lado, se está en disposición de definir un método simplificado para el prediseño de tanques de tormenta en redes de saneamientos litorales, ubicadas en zonas de características hidrológicas y ambientales similares a las del Cantábrico.

A continuación se presentan estos aspectos junto con las líneas generales en que se basan las normativas y la metodología indicadas.

MÉTODOS DE DIMENSIONAMIENTO DE TANQUES DE TORMENTA

Normativa Alemana, francesa e Inglesa.

La normativa ATV-128, desarrollada en Alemania, establece los siguientes criterios básicos para el diseño de tanques de tormenta:

- El caudal de regulación del conjunto de tanques del saneamiento no puede exceder la capacidad de tratamiento de la estación depuradora, tanto en el primario como en el secundario.
- La contaminación de las aguas de lluvia vertida al medio en un sistema unitario, es decir, la suma de la procedente de los alivios de tormenta y de la vertida en el efluente de la depuradora, no debe ser superior a la contaminación arrastrada por la escorrentía en una red separativa equivalente.

La contaminación a que se refiere la norma en el segundo punto se mide en términos de concentración de DQO, uno de los parámetros que permiten determinar el potencial de demanda de oxígeno de las aguas residuales.

Con estos criterios se puede determinar el volumen de almacenamiento y el caudal de regulación mediante la aplicación de una serie de fórmulas y gráficas que relacionan éstas variables con la población, la superficie de las cuencas, la precipitación de la zona, etc.

En Francia se emplea el método de la lluvia crítica, que tiene su origen en experimentaciones desarrolladas en Alemania y verificadas en el este de Francia. La idea principal de este método es la de disponer de elementos de retención cuyo volumen y caudal de regulación permitan tratar, en la estación depuradora, el 90% de la carga anual de DBO₅ que se vertería al medio acuático en caso de no existir estos elementos. Con este criterio, y a partir de datos de precipitación recogidos durante dos años en la zona del lago Constanza, el método concluye que el dimensionamiento del tanque

depende de una intensidad de lluvia crítica (15 L/sgHa), por debajo de la cual se debe asegurar la no ocurrencia de alivios.

Como se puede observar, ambas normas basan el cálculo del volumen de almacenamiento y del caudal de regulación en el control de una contaminación consumidora del oxígeno de las aguas, expresada en términos de DQO y DBO₅, respectivamente.

Por otro lado, en el Reino Unido se emplea la *British Standard Sewerage* (1987) de aplicación, al igual que las anteriores, a saneamientos fluviales. Esta norma proporciona un método, denominado de Liverpool, con el que calcular el caudal de incorporación al interceptor. Sin embargo, carece de una formulación específica para el dimensionamiento del volumen de retenida de los tanques. El caudal de regulación se define, en este caso, en función de factores tales como las aguas residuales domésticas e industriales recogidas y la población tributaria de la cuenca vertiente.

En relación con este método cabe señalar que ha sido utilizado frecuentemente en España en el diseño de sistemas unitarios, tanto en zonas costeras como continentales y, en especial, en el Cantábrico.

Metodología desarrollada para el litoral Cantábrico

Como se ha indicado anteriormente, en el litoral Cantábrico se han diseñado un total de siete saneamientos (Gijón, Santander, Santoña, Urdaibai, Zumaia, San Sebastián-Pasajes e Irún-Hondarribia) mediante la consideración de sus características locales específicas. La metodología utilizada para el diseño de estos saneamientos contempla el estudio de los aspectos ambientales que inciden en la definición de la capacidad hidráulica de colectores, tanques de tormenta y estaciones depuradoras.

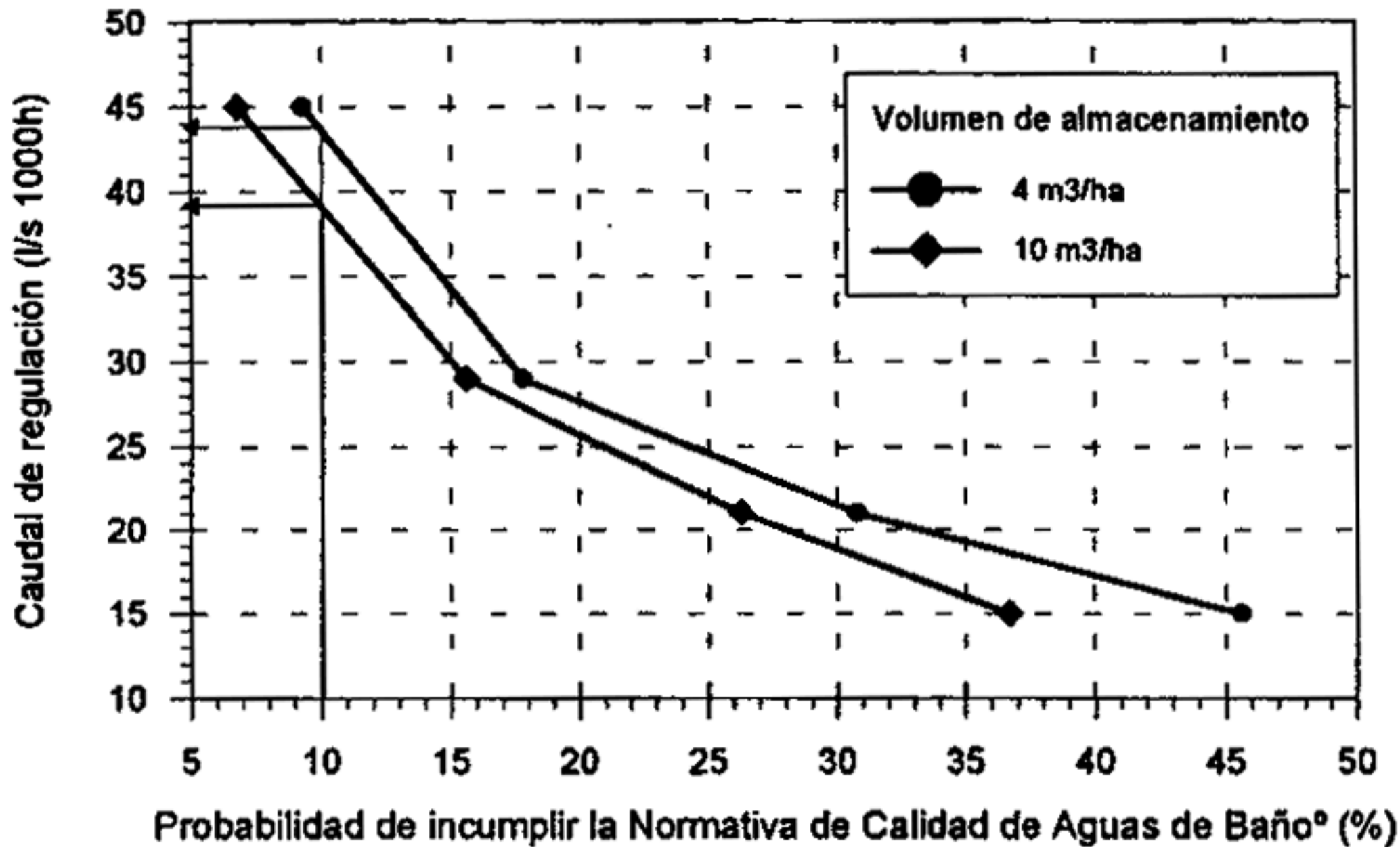
Para ello se han tenido en cuenta aspectos tales como la pluviometría de las zonas, la hidrología de las cuencas tributarias de los saneamientos, la hidráulica de los colectores, la hidrodinámica litoral, la dispersión de contaminantes en el medio marino, etc.

Todo ello requiere el modelado, durante extensos períodos de tiempo, del comportamiento de las redes de saneamiento y de la respuesta del medio marino frente a los alivios y vertidos, con el consiguiente esfuerzo computacional.

Los estudios realizados han puestos de manifiesto que los factores críticos, condicionantes del diseño, están relacionados con el control de la contaminación bacteriológica de las zonas de baño y de producción de moluscos.

El resultado de estos trabajos se traduce en la definición de una serie de ábacos para cada saneamiento, que relacionan las variables hidráulicas del sistema (capacidad hidráulica y de retenida) con la probabilidad de incumplimiento de un determinado criterio de calidad (figura 2).

Figura 2. Ejemplo de ábaco de diseño para el saneamiento de Santoña que relaciona el volumen de retenida y el caudal de regulación de un tanque de tormenta con la probabilidad de incumplimiento de la Normativa de Calidad de las Aguas de Baño. Periodo de retorno de diseño, T=10 años. (C.H.N., 1998).



Estos ábacos permiten, por ejemplo, establecer las dimensiones de un tanque de tormenta en términos probabilísticos y atendiendo a condiciones locales del saneamiento a que pertenece.

Con la aplicación de esta metodología se han diseñado un total de 75 tanques de tormenta, definiendo en cada uno de ellos su caudal de regulación y su volumen de almacenamiento.

COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LOS MÉTODOS DE DIMENSIONAMIENTO

Ante la disponibilidad de esta extensa base de datos sobre variables de diseño de tanques de tormenta, cabe plantear su comparación con las que se obtendrían de emplear las normas europeas descritas anteriormente. Esto permitiría determinar si dichas normas son aplicables al diseño de saneamientos litorales como los del Cantábrico. No debe olvidarse, no obstante, que son los resultados de la metodología los que tienen en cuenta las singularidades de cada saneamiento estudiado y del medio receptor de sus vertidos.

A modo de ejemplo de las comparaciones realizadas, en las figuras 3 y 4 se muestran los valores de volumen de almacenamiento (figura 3) y caudal de regulación (figura 4) obtenidos por aplicación de la metodología y de las normas Alemana, Francesa e Inglesa. Estas figuras corresponden a los tanques de tormenta del saneamiento de las marismas de Santoña.

Figura 3. Comparación de los volúmenes de almacenamiento de los tanques de tormenta de Santoña, obtenidos mediante la aplicación de la metodología específica y de las normas Alemana y Francesa.

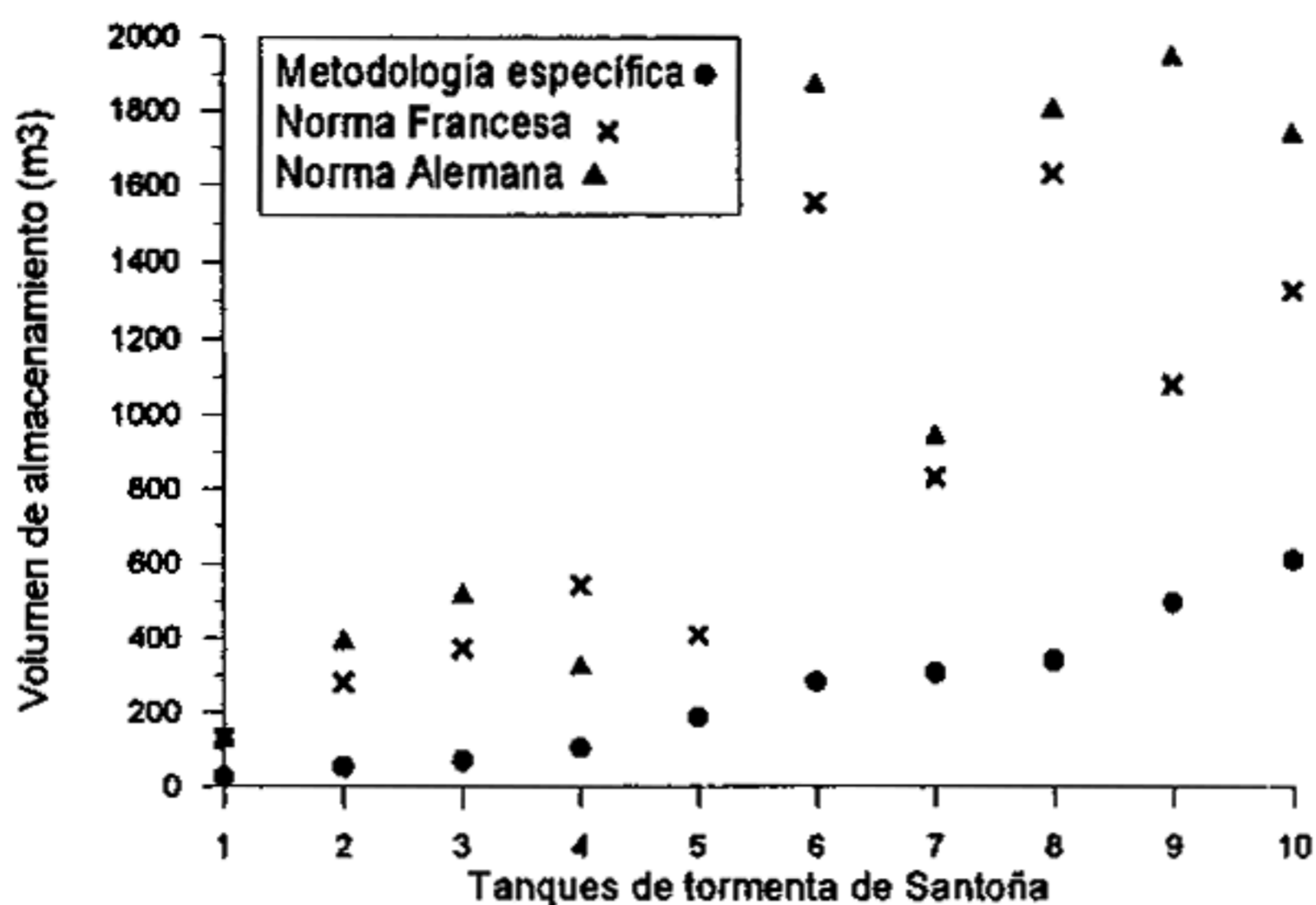
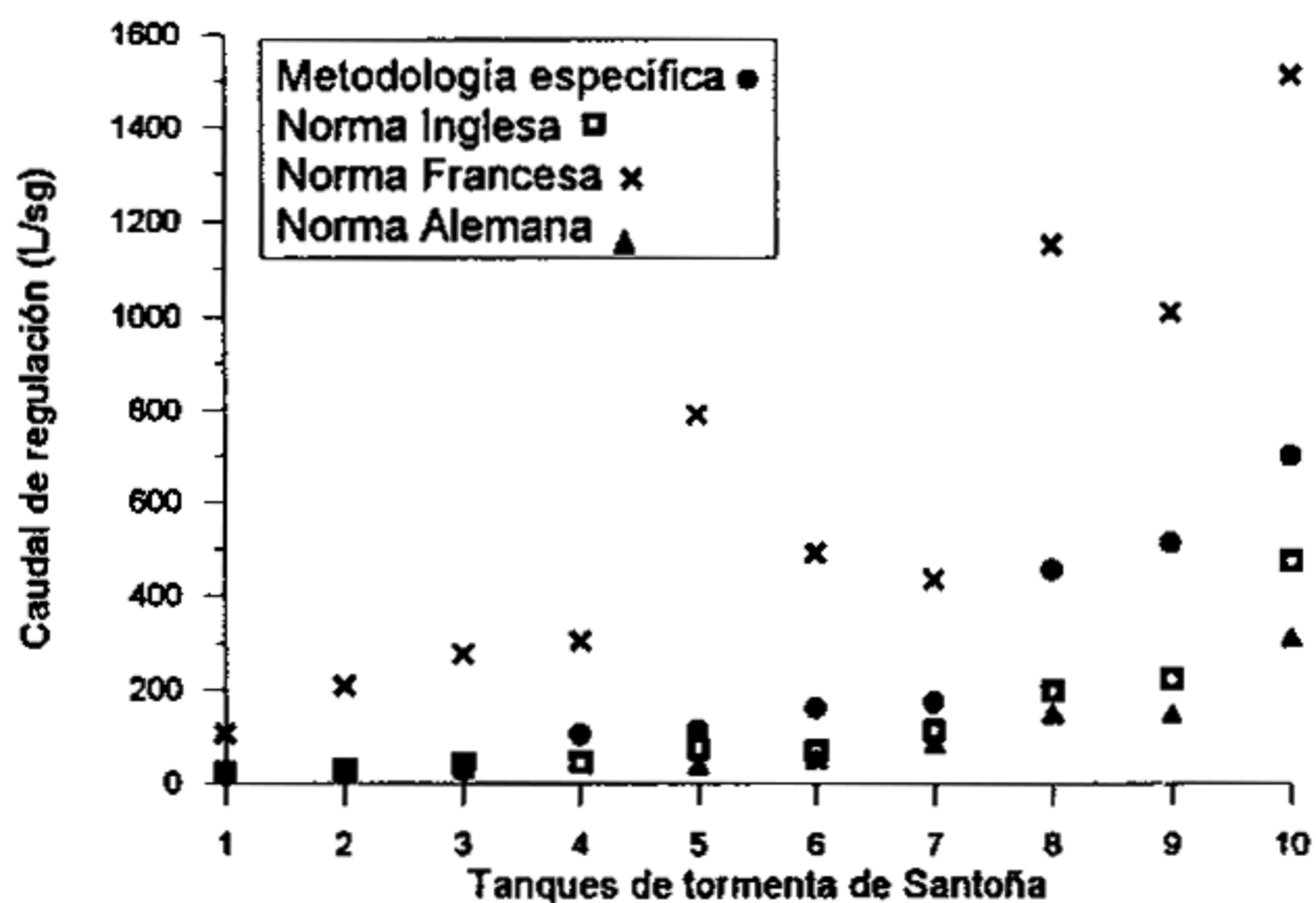


Figura 4. Comparación de los caudales de regulación de los tanques de tormenta de Santoña, obtenidos mediante la aplicación de la metodología específica y de las normas Alemana, Francesa e Inglesa.



En las figuras anteriores se comprueba como la aplicación de las normas conlleva al sobredimensionamiento del volumen de almacenamiento de los tanques. A esta misma conclusión se llega en el caso de los caudales de regulación calculados mediante la aplicación de la norma Francesa. Por contra, la Alemana y la Inglesa dan lugar a valores que en ocasiones son sustancialmente inferiores a los obtenidos con base en la metodología específica desarrollada para

la zona. Las comparaciones realizadas en el resto de los saneamientos dan lugar a resultados similares a los obtenidos para el de Santoña.

Por todo ello, cabe señalar que la aplicación de estos métodos se traduce en la obtención de valores de las variables de diseño de los tanques, distintos a los que se obtendrían de la aplicación de una metodología que considera las condiciones específicas y locales de cada saneamiento.

Este hecho parece evidente, dado que los criterios de dimensionamiento de las normativas Alemana, Francesa e Inglesa se definen en términos de control de la materia orgánica consumidora de oxígeno, mientras que en los saneamientos considerados, los factores críticos de diseño son los relacionados con el control de la contaminación bacteriológica de las aguas litorales.

DESARROLLO DEL MÉTODO DE PREDISEÑO PROPUESTO

Una vez comprobado que la aplicación de las normativas existentes al estudio de saneamientos litorales como los del Cantábrico no parece ser adecuada, se hace necesario el establecimiento de un método sencillo, de características similares a los recogidos en aquellas, con el que abordar el prediseño de nuevos saneamientos sin tener que recurrir a extensos estudios y cálculos numéricos. Para alcanzar la consecución de estos objetivos se parte de una extensa base de datos obtenida una vez analizados los siete saneamientos costeros y dimensionados 75 tanques de tormenta.

Con base en esta información y mediante un modelo de regresión no lineal se han buscado aquellas relaciones que mejor permitieran definir, en función de los datos disponibles, el volumen de almacenamiento y el caudal de regulación, para lo cual se ha empleado el paquete estadístico STATISTICA (StatSoft, Inc., 1994).

Se presentan, a continuación, las ecuaciones de predicción (modelos) que proporcionaron los mejores ajustes:

$$Q_i = 2.5 \cdot Q_d \cdot [(1+q) + (1+p_q)] \quad R^2 = 0.88 \quad (1)$$

Donde:

Q_i = caudal de incorporación al colector (l/sg)

Q_d = caudal medio de aguas residuales domésticas (l/sg)

q = Q_d/S_n (l/sgHa)

S_n = $S \cdot C_e$

S = superficie total de la cuenca vertiente (Ha)

C_e = coeficiente de escorrentía

p_q = $Q_d \cdot (P - Q_d)/P$

P = precipitación media de la zona en que se ubica el sistema de saneamiento (mm)

$$\text{Vol} = (4.1 * S_n * \tau * l) + v \quad R^2 = 0.91 \quad (2)$$

Donde:

Vol = volumen de almacenamiento del tanque (m³)

S_n = superficie neta de la cuenca (Ha)

τ = parámetro asociado al tiempo de concentración (t_c) que adopta los siguientes valores:

τ = 1.25 si 10 < t_c < 20 minutos

τ = 1.50 si 20 < t_c < 30 minutos

τ = 1.75 si t_c > 30 minutos

l = parámetro asociado a la distancia entre el punto de vertido y el punto de control (L) que adopta los siguientes valores:

l = 0.75 si L < 1000 m

l = 0.50 si 1000 < L < 2000 m

l = 0.25 si L > 2000 m

v = volumen de almacenamiento de la red de colectores existente aguas arriba del tanque (m³)

Por otro lado, en las tablas 1 a 7, se recogen, para cada uno de los tanques de tormenta de los siete saneamiento estudiados, los valores de las variables empleadas en la obtención de las ecuaciones de regresión anteriores. Así mismo, se presentan los caudales de regulación y volúmenes de almacenamiento obtenidos mediante el empleo de la metodología y del modelo estadístico desarrollado. En las figuras 5 y 6 se presenta la comparación gráfica de éstos valores.

Tabla 1. Valores de las variables empleadas en el estudio y de los caudales y volúmenes obtenidos con el empleo de la Metodología y del Modelo estadístico. Saneamiento de Gijón.

Tanque	Qd	S _n	q	P	P _q	t _c	τ	L	l	v	Metodología		Modelos	
											Q _i	Vol	Q _i	Vol
											GO1	1.9	33.6	0.06
GO2	0.0	71.1	0.00	813.8	1.00	20.8	1.50	1150	0.50	0.0	670	284		217
GO3	0.0	20.4	0.00	813.8	1.00	10.0	1.25	1150	0.50	0.0	85	82		52
GO4	1.7	1.4	1.24	813.8	1.00	10.0	1.25	1150	0.50	0.0	14	6	18	4
GO5	2.8	10.4	0.27	813.8	1.00	14.7	1.25	1150	0.50	0.0	35	41	23	26
GO6	26.3	24.6	1.07	813.8	0.97	20.0	1.50	1150	0.50	0.0	212	98	262	75
GO7	1.2	2.9	0.41	813.8	1.00	10.0	1.25	1150	0.50	0.0	10	11	10	7
GO8	18.3	17.5	1.05	813.8	0.98	11.7	1.25	1150	0.50	0.0	156	70	183	45
GO9	65.6	59.4	1.10	813.8	0.92	21.7	1.50	1150	0.50	0.0	628	238	653	181
GO10	30.3	46.2	0.66	813.8	0.96	16.7	1.25	1150	0.50	0.0	371	185	271	117

Tabla 4. Valores de las variables empleadas en el estudio y de los caudales y volúmenes obtenidos con el empleo de la Metodología y del Modelo estadístico. Saneamiento de Urdaibai.

Saneamiento de Urdaibai														
Tanque	Qd	Sn	q	P	p _q	tc	τ	L	I	v	Metodología		Modelos	
											Qi	Vol	Qi	Vol
UG1	101	115.2	0.88	1472.4	0.93	11.0	1.25	10	0.75	1400.0	624	1400	951	1840

Tabla 5. Valores de las variables empleadas en el estudio y de los caudales y volúmenes obtenidos con el empleo de la Metodología y del Modelo estadístico. Saneamiento de Zumaia.

Saneamiento de Zumaia														
Tanque	Qd	Sn	q	P	p _q	tc	τ	L	I	v	Metodología		Modelos	
											Qi	Vol	Qi	Vol
Z3	7.3	7.0	1.03	1419.4	0.99	3.3	1.25	1523	0.50	0.0	41	28	73	18
Z2	11.7	15.3	0.76	1419.4	0.99	7.1	1.25	1153	0.50	0.0	60	61	109	39
Z1	10.0	14.6	0.69	1419.4	0.99	7.1	1.25	713	0.75	0.0	46	58	91	56

Tabla 6. Valores de las variables empleadas en el estudio y de los caudales y volúmenes obtenidos con el empleo de la Metodología y del Modelo estadístico. Saneamiento de San Sebastián.

Saneamiento de San Sebastián														
Tanque	Qd	Sn	q	P	p _q	tc	τ	L	I	v	Metodología		Modelos	
											Qi	Vol	Qi	Vol
SG1	9.1	9.0	1.02	1419.4	0.99	17.0	1.25	505	0.75	35.2	95	538	91	70
SG2	80.6	123.3	0.65	1419.4	0.94	37.0	1.75	505	0.75	0.0	836	500	718	659
SG3	78.3	55.4	1.41	1419.4	0.94	13.0	1.25	130	0.75	652.3	811	7724	844	
SA4	242.8	137.0	1.77	1419.4	0.83	16.0	1.25	695	0.75	1354.2	2100	10840	2766	
SU5	13.3	19.0	0.70	1419.4	0.99	20.0	1.50	1337	0.50	0.0	116	19	121	58
SU6	0.0	6.7	0.00	1419.4	1.00	20.0	1.50	1337	0.50	0.0	55	7		20
SU7	55.7	45.9	1.21	1419.4	0.96	40.0	1.75	1337	0.50	0.0	329	46	575	163
SU8	0.0	11.9	0.00	1419.4	1.00	20.0	1.50	1337	0.50	0.0	56	12		36
SU9	15.1	17.9	0.84	1419.4	0.99	15.0	1.25	1337	0.50	0.0	87	18	143	46
SU10	9.5	13.2	0.72	1419.4	0.99	10.0	1.25	1337	0.50	0.0	54	1	87	34
SU11	0.8	2.0	0.38	1419.4	1.00	10.0	1.25	1337	0.50	0.0	4	1	6	5
SU12	17.7	15.4	1.15	1419.4	0.99	20.0	1.50	1337	0.50	0.0	102	14	181	47

Tabla 7. Valores de las variables empleadas en el estudio y de los caudales y volúmenes obtenidos con el empleo de la Metodología y del Modelo estadístico. Saneamiento de Txingudi.

Saneamiento de Txingudi														
Tanque	Qd	Sn	q	P	p _q	tc	τ	L	I	v	Metodología		Modelos	
											Qi	Vol	Qi	Vol
I1	15.8	19.4	0.81	1419	0.99	8.9	1.25	4800	0.25	0.0	91	78	148	25
I2	15.5	43.9	0.35	1419	0.99	16.7	1.25	4650	0.25	0.0	118	175	128	56
I3	4.1	18.9	0.22	1419	1.00	7.8	1.25	4650	0.25	0.0	17	76	33	24
I4	0.6	10.0	0.07	1419	1.00	4.4	1.25	4650	0.25	0.0	19	40	5	13
I5	0.9	2.4	0.37	1419	1.00	2.2	1.25	4650	0.25	0.0	7	10	7	3
H6	3.5	57.8	0.06	1419	1.00	7.8	1.25	4650	0.25	0.0	48	231	27	74
H7	41.9	168.5	0.25	1419	0.97	7.8	1.25	1390	0.50	0.0	373	674	334	429

Figura 5. Volúmenes de almacenamiento calculados con la metodología específica versus resultados del modelo (m³).

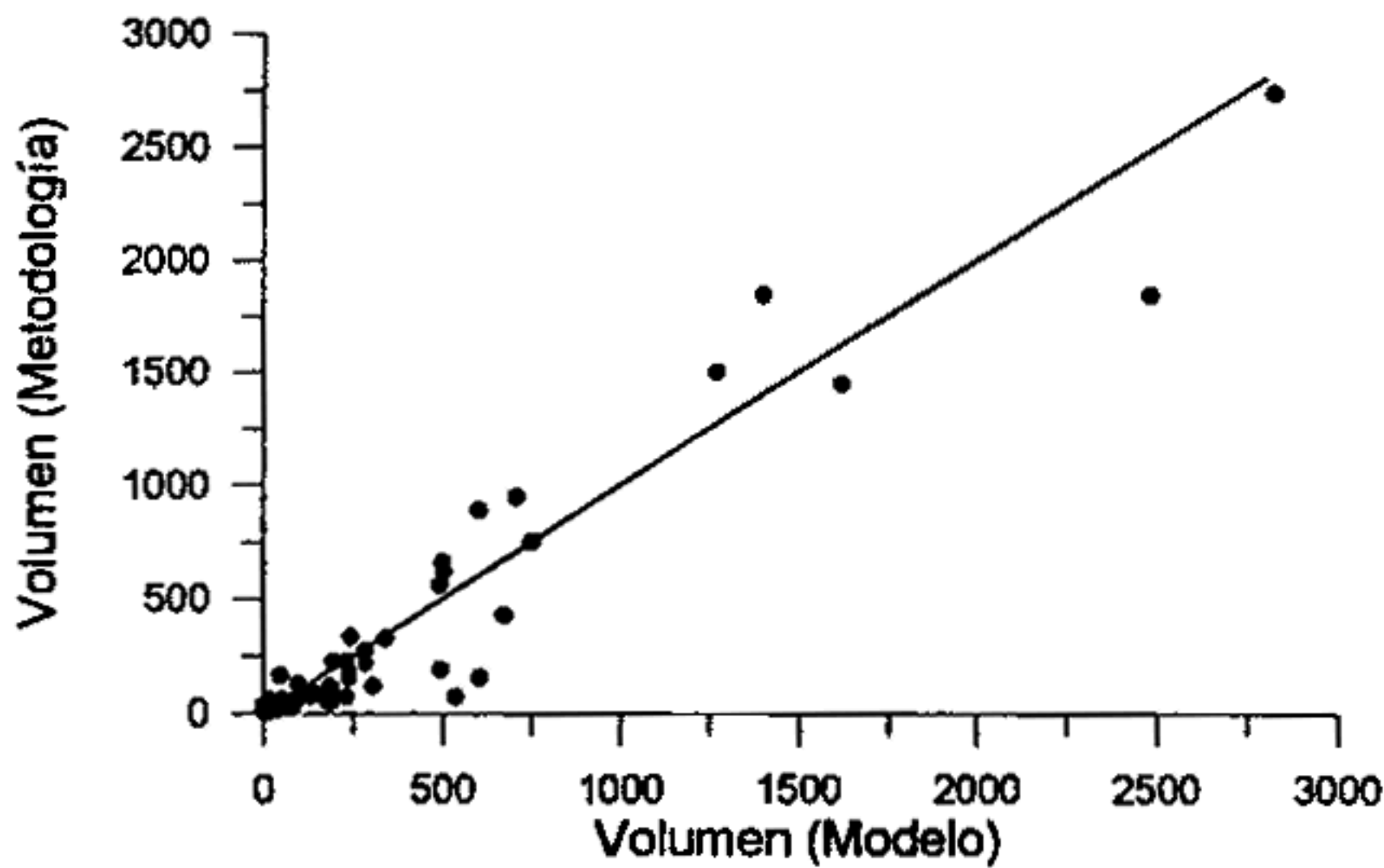
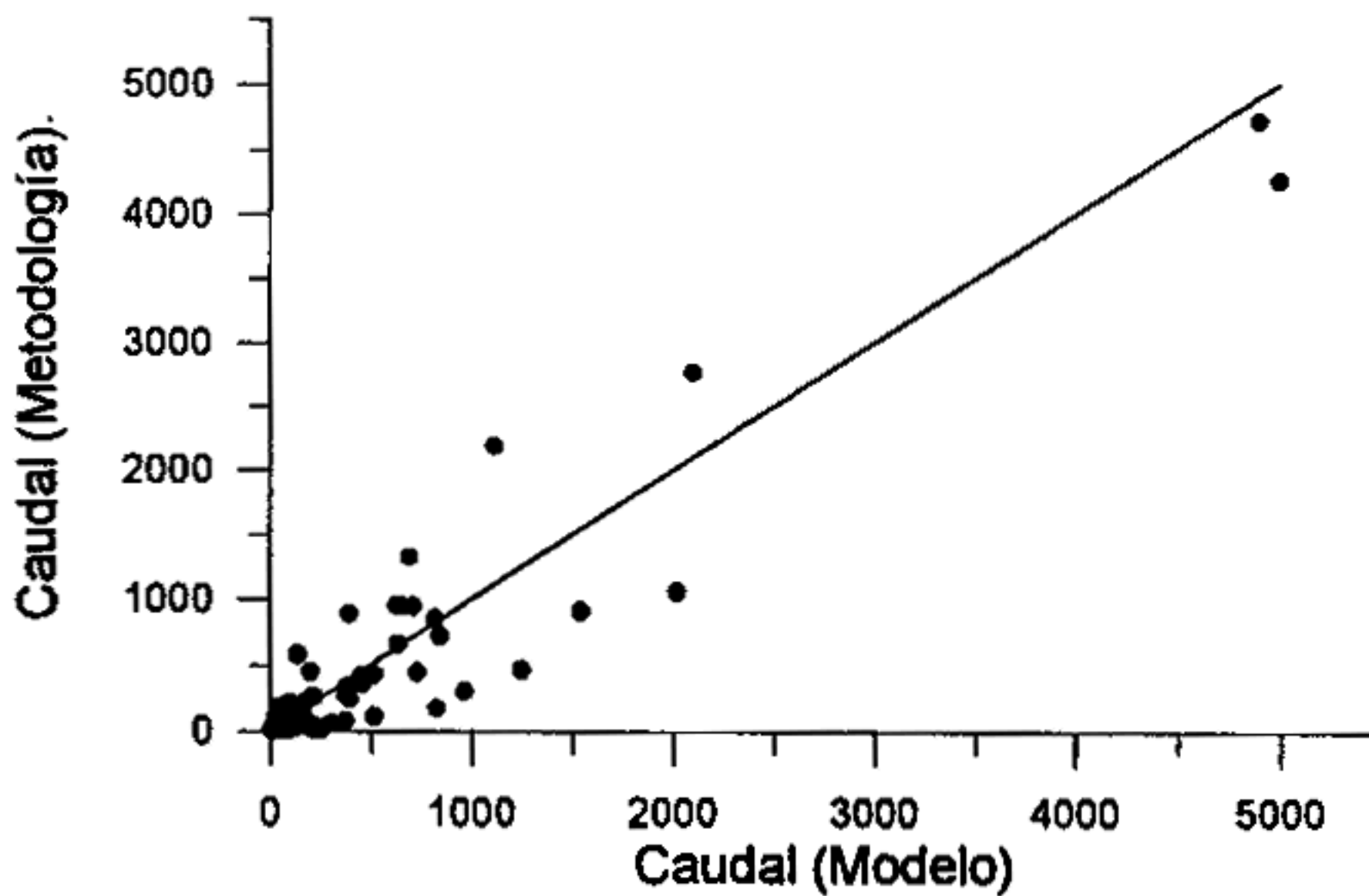


Figura 6. Caudales de incorporación calculados con la metodología específica versus resultados del modelo (L/sg).



A la vista de los modelos propuestos, cabe señalar que el caudal de incorporación al colector se calcula como una función de la población, la superficie neta de la cuenca y la precipitación media de la zona concreta. Es decir, de parámetros hidrológicos y de la carga contaminante recogida en el tanque asociada a la población. El volumen de almacenamiento del tanque se calcula como una función de las características hidrológicas, el almacenamiento disponible y el efecto de la distancia relativa del punto de vertido al de control.

CONCLUSIONES

Una vez realizados los estudios indicados en los apartados anteriores, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

- En la costa Cantábrica se han dimensionado un total de 75 tanques de tormenta, repartidos en siete saneamientos de carácter litoral, mediante el empleo de una compleja metodología que considera las condiciones específicas de cada zona. En estos saneamientos, el condicionante del diseño ha sido la protección del medio marino frente a la contaminación bacteriológica de las zonas de baño y de producción de moluscos.
- Existen en la actualidad varias normativas, entre las que cabe destacar la Alemana, Francesa e Inglesa, que proporcionan métodos sencillos para el dimensionamiento de tanques de tormenta. Dichas normativas se han desarrollado bajo criterios de control de la materia consumidora de oxígeno vertida a través de los saneamientos en zonas fluviales y lacustres.
- Las normativas mencionadas se han utilizado en nuestro país para el diseño de saneamientos unitarios, incluso en zonas litorales, sin que se haya comprobado, hasta el momento, su validez.
- Las comprobaciones al respecto realizadas en este estudio indican que la aplicación de las normativas señaladas dan lugar a valores de las variables de diseño de los tanques, sustancialmente distintos a los que se obtienen de aplicar la metodología que considera las condiciones específicas y locales de cada saneamiento.
- Con base en la información disponible, se ha definido un modelo de prediseño de tanques de tormenta desarrollado, específicamente, para los siete saneamientos considerados, con el que calcular el caudal de regulación y el volumen de retenida de los tanques en función de parámetros del saneamiento tales como la población, la superficie de la cuenca drenante, el tiempo de concentración, etc. Este modelo sería aplicable al prediseño de nuevos tanques tanto en saneamientos del Cantábrico como en otros situados en zonas de características pluviométricas, hidrológicas y ambientales similares.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, C. 1996. Aportaciones metodológicas al estudio de la contaminación litoral originada por vertidos y alivios procedentes de redes de saneamiento urbano. Tesis doctoral. Universidad de Cantabria.
- ATV-128. 1992. Standards for the dimensioning and design of stormwater structures in combined sewers. Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik (GFA). pp.119.
- British Standard Sewerage. 1987. Part I. Guide to new sewerage construction. British Standard Institution. pp.29.

- C.H.N. (Confederación Hidrográfica del Norte). 1998. Diseño del esquema general de saneamiento de las marismas de Santoña. Oviedo.
- Ministère de l'agriculture. 1988. Les bassins d'orage sur les réseaux d'assainissement. Documentation technique. Paris. pp.58.
- Revilla, J.A., Luceño, A., Nikolov, K. y Álvarez, C. 1994. Vertidos de tormenta en zonas costeras. Una metodología para el diseño acorde con las directivas comunitarias. *Revista de Obras Públicas*, nº3.336, año 141, octubre. Madrid. pp.69-78.
- StatSoft, Inc. 1994. STATISTICA for the Windows operating system. Tulsa (E.E.U.U.).