

EL PROBLEMA ECONOMICO EN LA DEPURACION DE LAS AGUAS RESIDUALES

Por EDUARDO DEWISME
Ingeniero Industrial

Con el presente artículo el autor quiere dar a conocer algunos datos orientativos sobre el coste de construcción y mantenimiento de las plantas de depuración de aguas residuales urbanas, así como los criterios que ya vienen utilizándose en otros países.

La mayor dificultad que se encuentra a la hora de poder aplicar una política de control y mejora de los vertidos residuales es el coste que ello supone.

Los beneficios que se obtienen con la depuración de las aguas residuales no son tan directos y visibles como los que se consiguen con la depuración de las aguas potables. De aquí que el esfuerzo económico que se realiza en el campo de la depuración de aguas residuales sea muy inferior al que se lleva a cabo con aguas potables.

Favorece este hecho el que la construcción y mantenimiento de las plantas de tratamiento de agua potable se financia y amortiza con las tarifas de venta de un bien. Sin embargo, el consumidor, erróneamente, no considera un bien que le recojan sus aguas residuales y se las depuren.

El coste de esta depuración varía ampliamente según el tratamiento e instalaciones que se adopten. Por ello es de interés disponer de datos que nos relacionen las diferentes soluciones con los costos que suponen, para así planificar la depuración de acuerdo con las posibilidades de financiación.

La misión de este artículo es dar algunos datos orientativos sobre el coste de construcción y mantenimiento de las plantas de depuración, así como los criterios que ya vienen utilizándose en otros países, con objeto de fijar cuotas de aportación a los gastos mencionados.

Costo del saneamiento.

Entendemos por saneamiento no sólo la recogida y evacuación de las aguas residuales

mediante una red de alcantarillado, sino su depuración antes de verterse a un cauce público.

Por tanto, el costo del saneamiento puede dividirse en el de la red de saneamiento y en el de la planta de depuración. Los datos que se dan en este artículo tan sólo recogen los costos inherentes a plantas de depuración de aguas residuales urbanas.

Depuración de aguas residuales.

Si bien los principios básicos de la depuración de las aguas residuales son simplemente las operaciones de sedimentación y depuración biológica, la forma de llevarlas a cabo es muy variada por utilizarse diferentes sistemas y numerosos tipos de aparatos. Tenemos aparatos desde el más sencillo, la fosa séptica, hasta los mejores estudiados por las diferentes firmas comerciales, en especial sobre el sistema de fangos activados. De aquí que los costos de primera instalación y mantenimiento varían ampliamente según:

La línea de tratamiento: Esta puede ser primaria (simple decantación), secundaria (decantación y depuración biológica) y terciaria cuando se complementa el tratamiento secundario con otro que consigue una calidad de agua comparable a la potable.

Sistema de depuración y eliminación de lodos: Los principales sistemas de depuración se diferencian en el tratamiento biológico, que en el caso de que sea aerobio las modalidades utilizadas son los filtros y los fangos activados. La eliminación de los lodos puede realizarse según muy diferentes formas, como digestión anaerobia o aerobia, secado natural o por medios artificiales, incineración, etc.

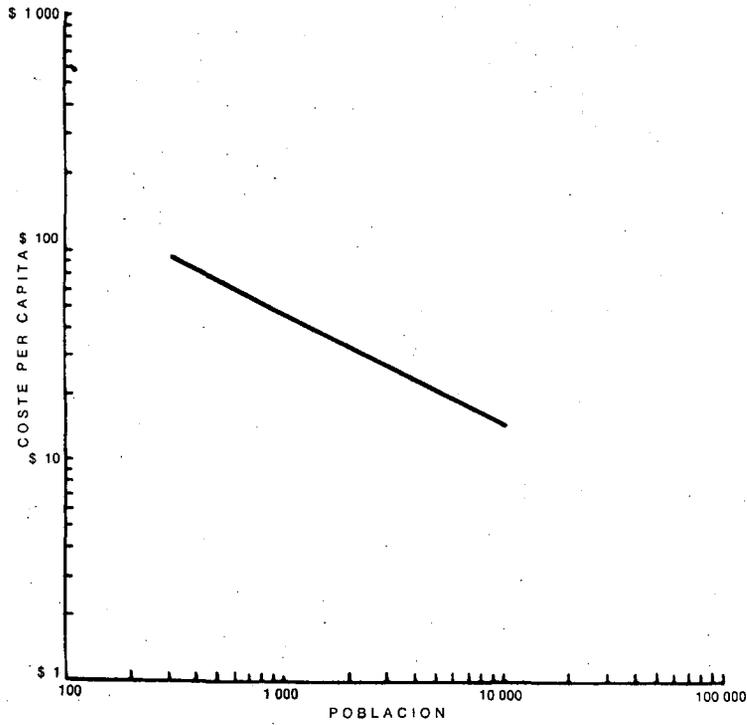


Gráfico 1. — Tratamiento primario. Fosas Imhoff.

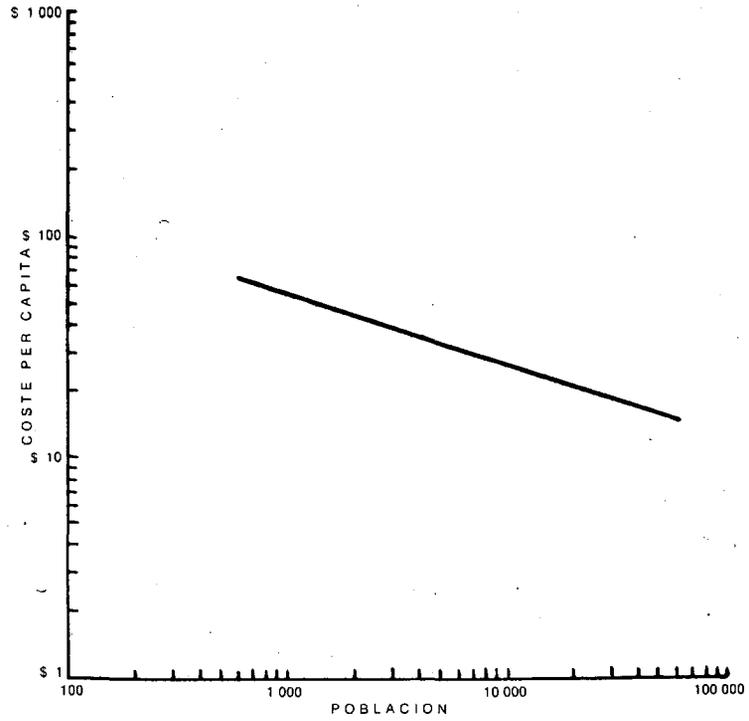


Gráfico 2. — Tratamiento primario. Decantación y digestión separadas.

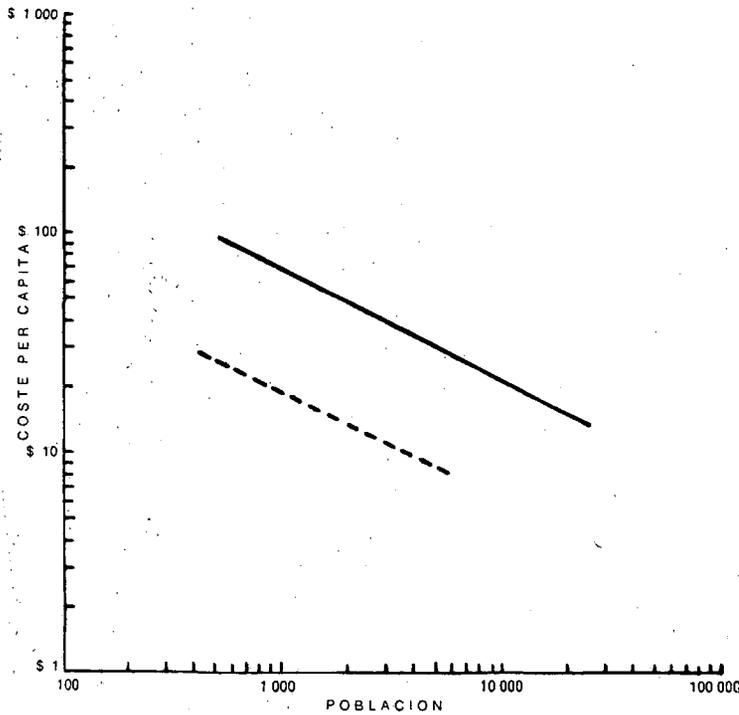


Gráfico 3. — Tratamiento completo. Fosas Imhoff y filtros biológicos.

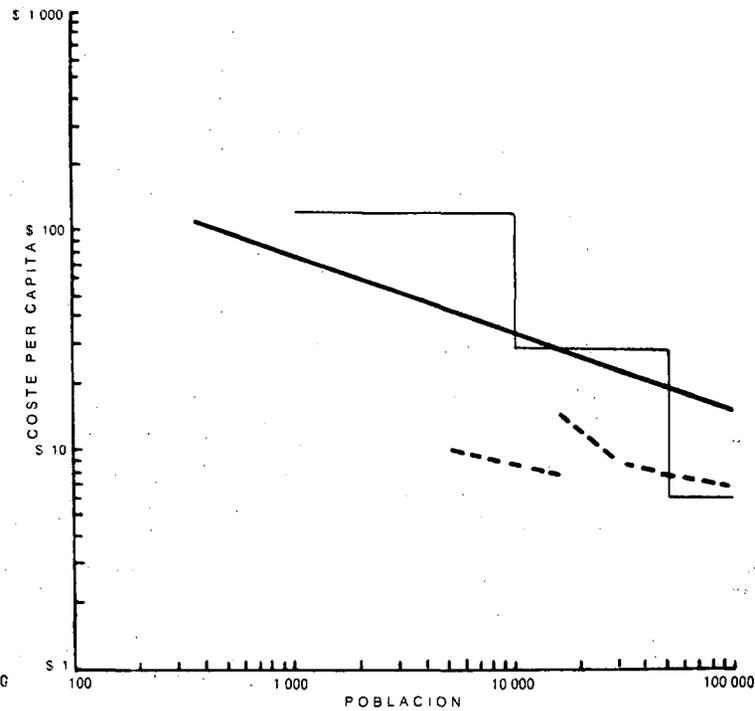


Gráfico 4. — Tratamiento completo. Filtros biológicos.

Tipo de aparato: Aquí es donde caben infinidad de soluciones según el empleo de los numerosos modelos de cada una de las firmas comerciales.

A la vista de las variantes que se deducen del conjunto de los tres puntos expuestos, se comprende la dificultad que encierra este estudio. Por ello se limita a las líneas de tratamiento primario y secundario, tanto con filtros como fangos activados, utilizándose aparatos convencionales. El tratamiento de los lodos se realiza mediante una digestión anaerobia y posterior secado al ambiente.

Costo de una planta de depuración de aguas residuales urbanas.

Debido al escaso número de plantas construidas en España, no se dispone de datos oficiales sobre su costo. Entre la escasa publicación que existe sobre estos temas, hay un folleto, editado por la casa de depuración de aguas Depuragua, que al final consigna unas tablas en las que da unas cifras orientativas, tanto del coste de primera instalación como de mantenimiento, para diferentes sistemas de depuración y un número variable de personas.

Estos valores se han dispuesto en gráficos en los que además figuran los valores tomados de los datos facilitados por el Servicio de Salud Pública en U. S. A., según la referencia (1).

En la citada referencia se hace un estudio de los diferentes factores que definen el coste de la planta, y se realiza un análisis minucioso sobre las bases con las que se han deducido los datos de las curvas que figuran en los gráficos. Estos valores recogen exclusivamente el coste del diseño y construcción, a partir de los datos tomados de 1 504 proyectos de plantas construidas. No tienen en cuenta los gastos administrativos, que pueden valorarse en un 20 por 100 del coste de construcción, estudios previos y, lo que es más importante tener en cuenta, el coste del terreno.

Los datos orientativos facilitados por Depuragua siguen el criterio anterior, de forma que se pueden indicar sobre el mismo gráfico.

En los gráficos 1, 2, 3, 4 y 5 se han fijado dos curvas que dan en ordenadas para diferentes sistemas de tratamiento:

Trazo de puntos: Coste *per cápita* según datos de Depuragua, referidos a pesetas, del año 1965.

Trazo grueso continuo: Coste *per cápita* según datos americanos, referidos a dólares, del período 1957-1959.

En el gráfico 4 se ha dispuesto además, en trazo fino, los valores que para un sistema de tratamiento completo, en general, se consignan para Alemania en el año 1961. Estos datos han sido tomados de la referencia (2).

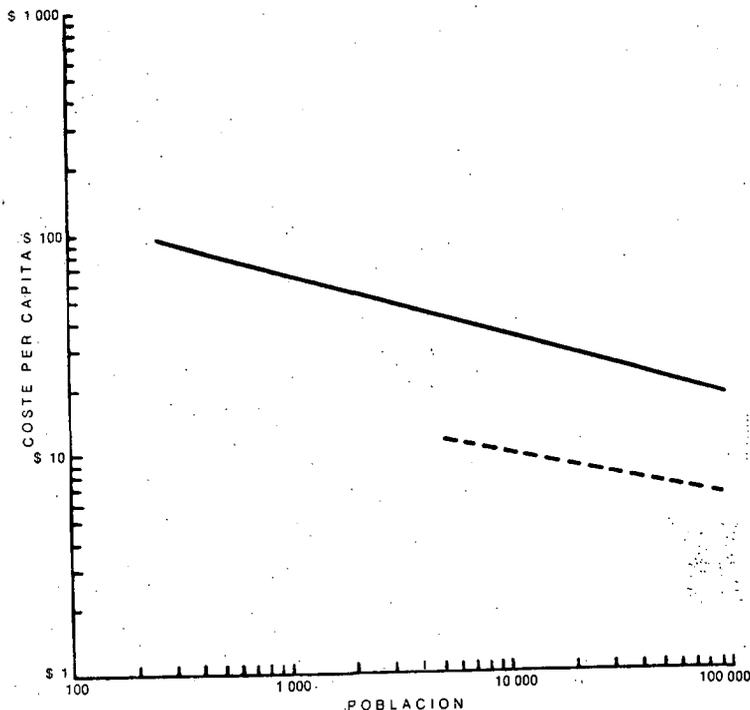


Gráfico 5. — Tratamiento completo. Fangos activados.

No se pretende comparar los costos españoles del año 1965 con los de U. S. A. en el período de 1957-1959 o Alemania en 1961. Lo que se desea hacer ver es la distinta forma y pendiente de las curvas, que nos definen cómo varía el coste para un mismo sistema de tratamiento cuando se construye para distintas capacidades. Estas pendientes debían ser sensiblemente iguales. Las diferencias que se observan pueden ser debidas a que Depuragua probablemente habrá deducido algunos valores por un sistema de extrapolación. Es, pues, más ló-

gico pensar que la pendiente real se ajustará a la definida por las curvas americanas.

En todos los gráficos figuran en abscisas el número de habitantes de diseño de la planta.

Los sistemas de tratamiento para los que se realiza el estudio son:

Tratamiento primario.

Plantas con fosas Imhoff (gráfico 1). Según esquema de la figura 1, pero comprendiendo ex-

Tratamiento completo.

Plantas con filtros biológicos.

Plantas con fosa Imhoff (gráfico 3). Según esquema completo de la figura 1. Comprenden: el bombeo, una fosa Imhoff, filtro biológico y lechos de secado. Los datos de Depuragua se refieren a plantas compactas según esquema de la figura 3.

Plantas de decantación y digestión separada (gráfico 4). Según esquema completo de la figura 2. Comprenden: bombeo, un decantador

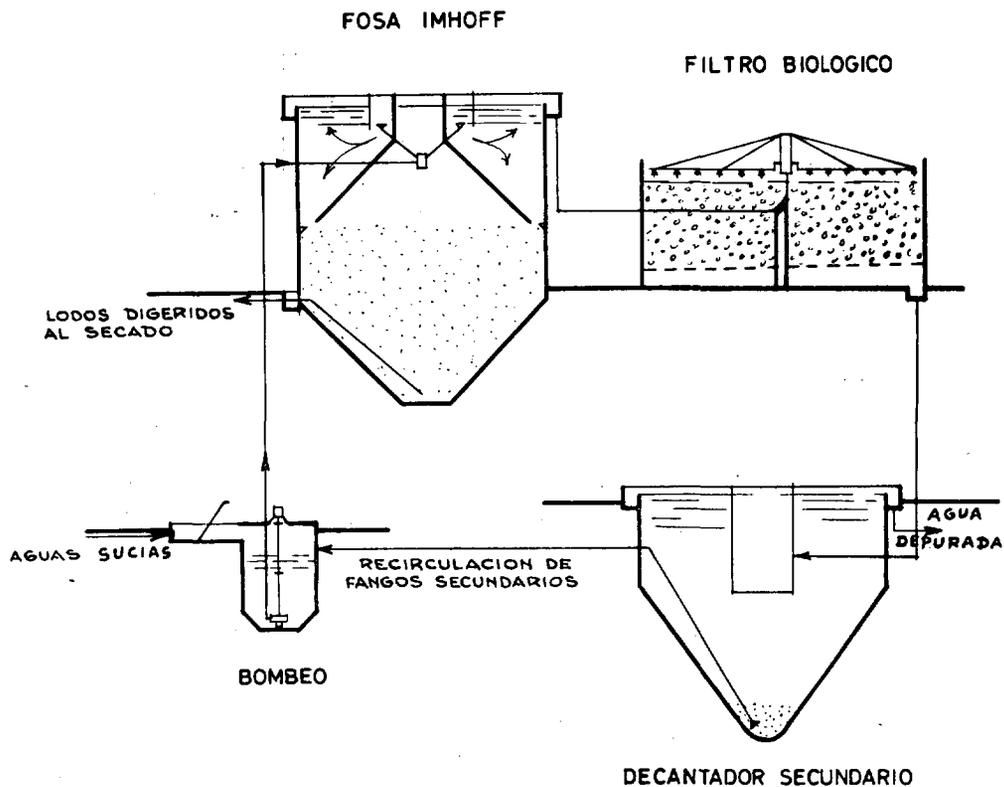


Fig. 1. — Tratamiento completo. Fosas Imhoff y filtros biológicos.

clusivamente el bombeo a la fosa de decantación y digestión y los lechos de secado.

Plantas de decantación y digestión separadas (gráfico 2). Según esquema de la figura 2, pero comprendiendo exclusivamente: el bombeo, decantador mecánico, un digestor separado y lechos de secado.

mecánico, digestor separado, filtro biológico, decantador secundario y lechos de secado.

Plantas con fangos activados (gráfico 5). Según esquema de la figura 4. Los datos americanos también engloban las plantas compactas de aeración, comúnmente denominadas de oxidación total, según esquema de la figura 5.

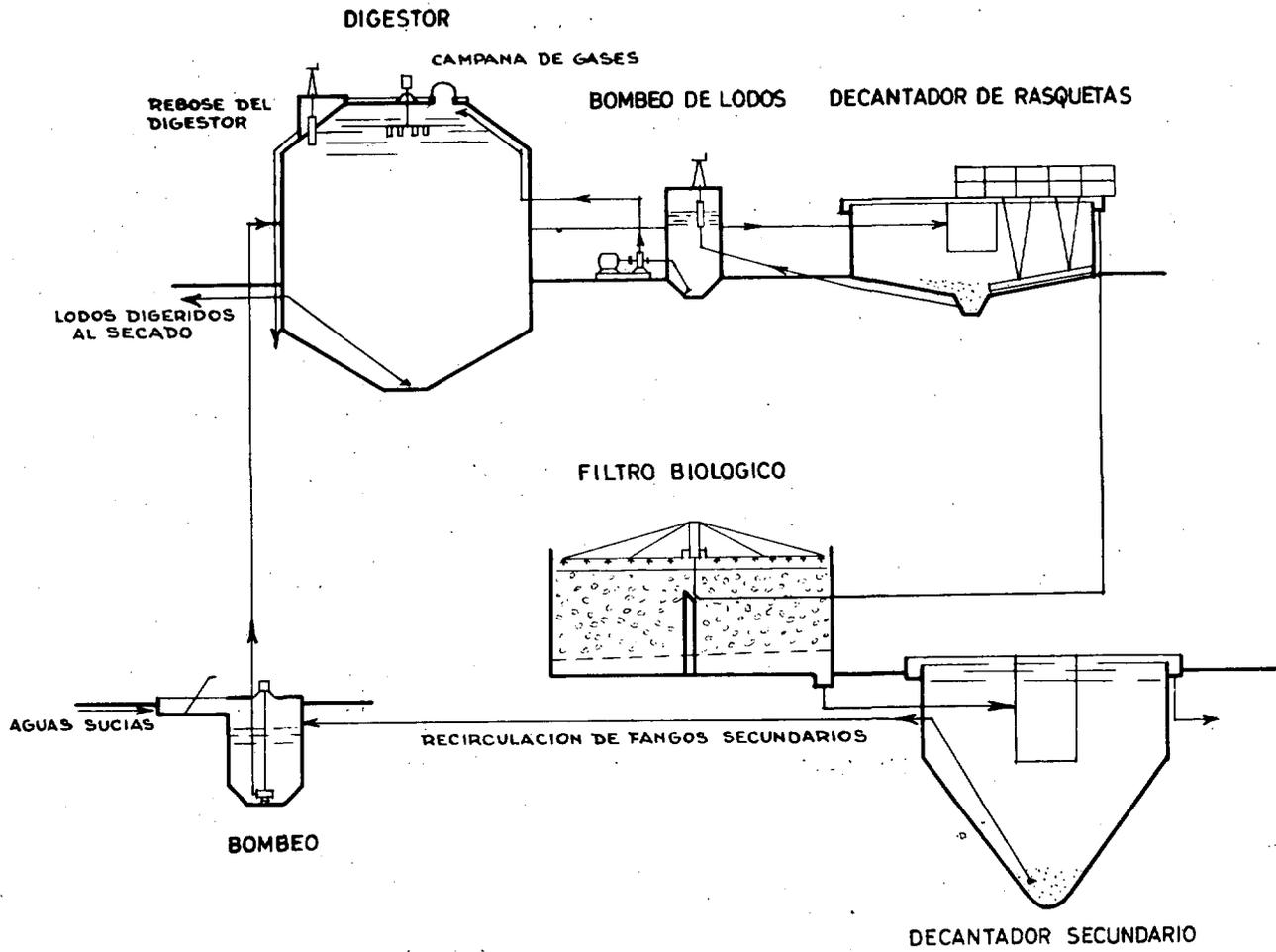


Fig. 2. — Tratamiento completo. Filtros biológicos.

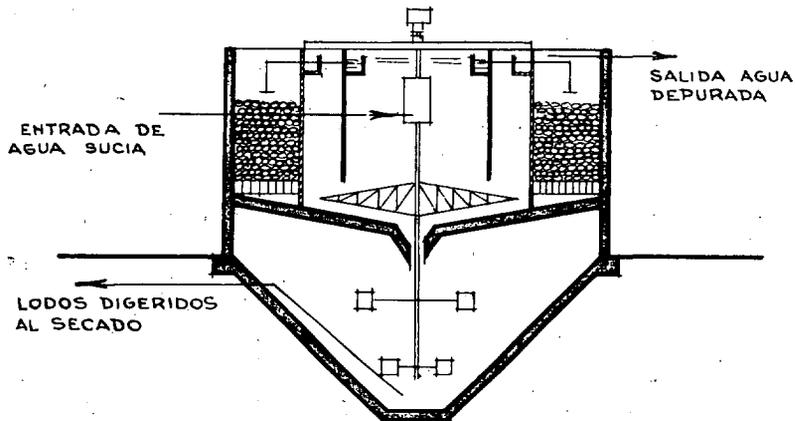


Fig. 3. — Tratamiento completo. Planta Monobloc.

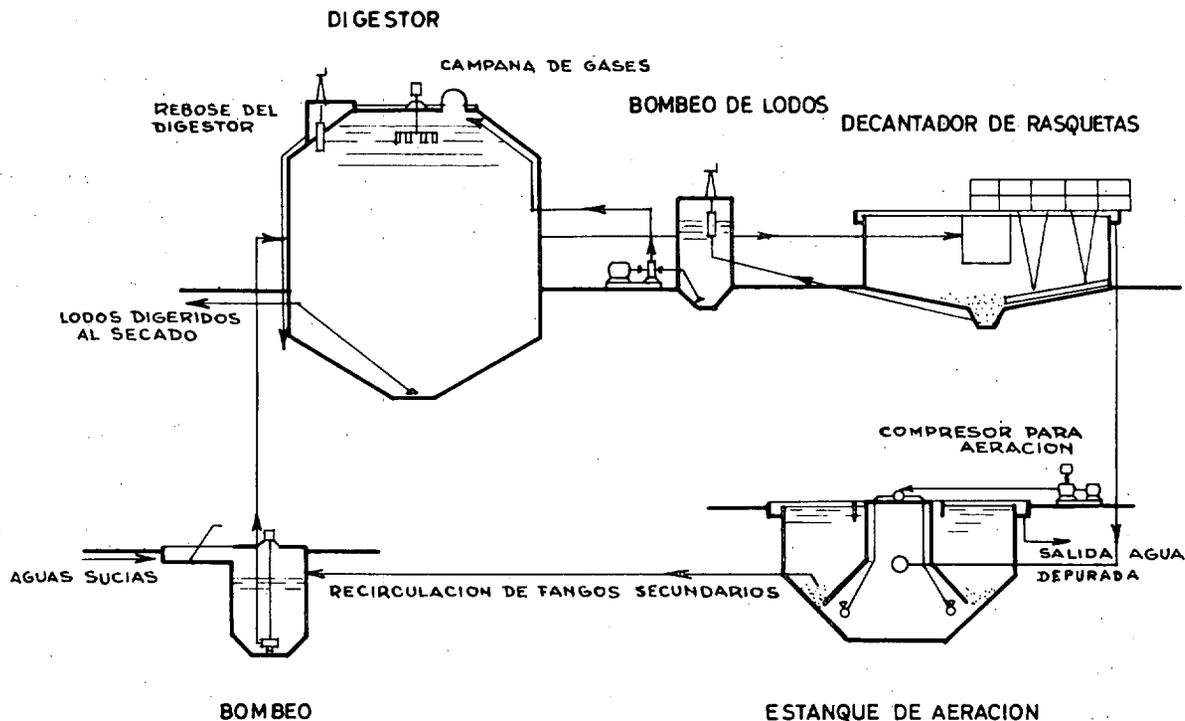


Fig. 4. — Tratamiento completo. Fangos activados.

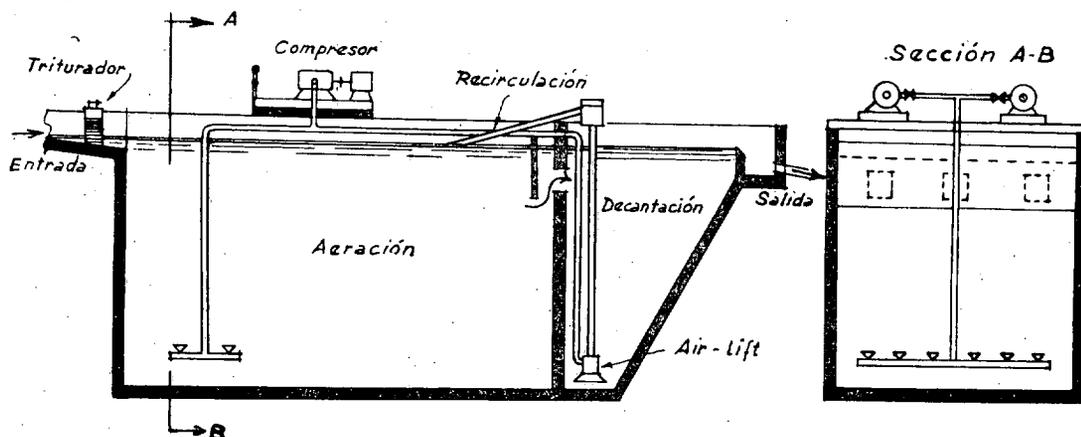


Fig. 5. — Tratamiento completo. Oxidación total.

Comprenden: bombeo, decantación mecánica, aeración por difusión de aire o mecánica, decantación secundaria y lechos de secado.

Costo de mantenimiento.

Los gastos fundamentales de mantenimiento de estas plantas se componen de los aparta-

dos: personal, energía y reactivos y conservación. En los casos que exista posibilidad de vender los lodos residuales de la planta, ya sea directamente como fertilizante o para mezclarlos con basuras para formar un compost, a los gastos enumerados, será preciso restarles este beneficio. Si bien en España ya se hacen intentos en este sentido, no se consideran en este estudio.

Es de capital importancia la conservación y mantenimiento de la planta, siendo este un fallo general que se da no sólo en las plantas de aguas residuales, sino incluso en las de aguas potables. En U. S. A., para evitar este perjuicio, la ley establece (*The Water Pollution Control Act of 1956*), traducido literalmente: "no se concederá ninguna subvención para los proyectos bajo esta sección hasta que el peticionario haya demostrado, al jefe de Sanidad, que asegura un adecuado funcionamiento y conservación de las instalaciones después de haberse completamente terminado".

Si, como decíamos, Depuragua ha precisado ayudarse de estudios teóricos a la hora de deducir los costos de las plantas, es de suponer que al definir los gastos de mantenimiento ha tenido que basarse casi puramente en ellos. Por ello, en este caso nos valdremos también de los datos obtenidos del Servicio de Salud Pública en U. S. A., según el artículo de la referencia (3).

En el citado artículo se da un resumen del estudio realizado por el Servicio de Salud Pública en U. S. A., sobre los costos anuales de funcionamiento y conservación de 321 plantas en funcionamiento con distintos sistemas de tratamiento. Los datos excluyen los gastos por otros motivos diferentes a los señalados, en particular los que se refieren al servicio central de administración de las plantas y gastos de amortización e interés del capital invertido.

De los datos que se señalan hemos tomado tan sólo los que se refieren a los siguientes tratamientos:

Gráfico 6: Tratamiento primario.

Gráfico 7: Tratamiento completo con filtros biológicos.

Gráfico 8: Tratamiento completo con fangos activados.

En los gráficos 7 y 8 figuran en trazo grueso continuo los valores americanos (período 1955 a 1959), y en trazo de puntos, los deducidos por Depuragua (1965). En el gráfico 7 se consignan también, en trazo fino, los costos de mantenimiento para el año 1961, en Alemania, de un sistema de tratamiento completo general según datos tomados de la referencia (2). Estos costos incluyen, además de los gastos de explotación, un 10 por 100 sobre el capital invertido para la amortización e interés del capital (7 por 100 de interés, 1 por 100 para amortización de deudas y 2 por 100 de amortización

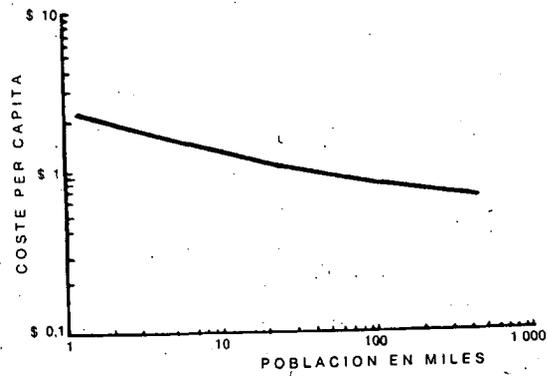


Gráfico 6. — Tratamiento primario.

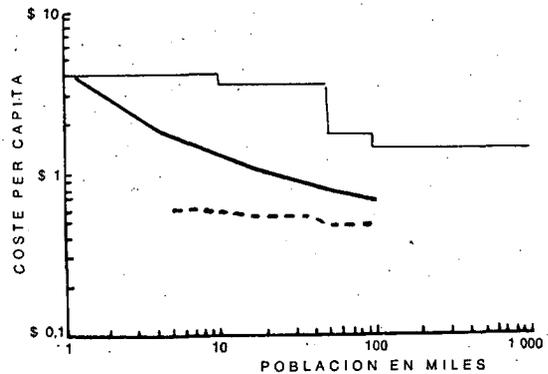


Gráfico 7. — Tratamiento completo. Filtros biológicos.

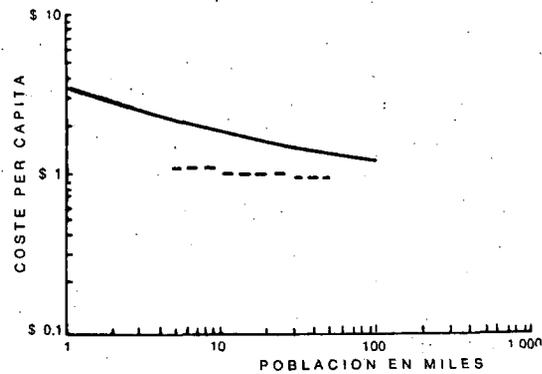


Gráfico 8. — Tratamiento completo. Fangos activados.

del material), de aquí que superen incluso los valores tomados de U. S. A.

Tampoco se trata en este caso de comparar los valores absolutos en U. S. A., España y Alemania en aquellas fechas, sino dar a ver la for-

ma de variación de estos gastos, con relación al número de usuarios de las plantas, y los distintos sistemas de tratamiento. Es más lógico guiarse de la pendiente definida por el estudio americano, que la deducida de los valores de Depuragua.

De los datos que figuran en los gráficos se comprueba que, si bien el costo de una planta de tratamiento completo, mediante filtros biológicos, es aproximadamente igual al realizado mediante fangos activados, el gasto de mantenimiento de esta última es superior al de la primera. En contrapartida, hay que tener en cuenta que las plantas que utilizan el sistema de fangos activados ocupan una superficie menor; la reducción de superficie precisa puede estimarse de un 15 a un 20 por 100.

Concretándonos a un caso particular, a continuación expongo el resumen del cálculo que realicé el pasado año para una planta de tratamiento primario en Guipúzcoa, diseñada para 16 500 habitantes, con una dotación de 320 litros/h./d. El coste de ejecución de la planta es de 5 170 000 pesetas, estando proyectado el secado de lodos mediante un filtro de vacío.

Personal	245 000 ptas.
Energía	42 000 ptas.
Reactivos (para el acondicionamiento de lodos)	69 940 ptas.
Conservación (3 % del costo de equipos)	98 832 ptas.
Amortización (6 % del costo de equipos más 5 % del de las obras de fábrica) ...	291 392 ptas.
Total	747 164 ptas.

$$\text{Coste anual per cápita previsto} = \frac{747\ 164}{16\ 500} = 45 \text{ ptas.}$$

Tarifa de depuración de aguas residuales.

En general, se considera que la mejor solución para la evacuación y depuración de las aguas residuales industriales es a través del sistema de saneamiento urbano. En este caso, se impone a los vertidos industriales a admitir unas condiciones mínimas que deben cumplir, para evitar deterioramientos en la red de drenaje y dificultades en la planta depuradora.

En los casos que el volumen de vertidos industriales sea muy importante con relación a

los urbanos, sus características incompatibles con ellos o el trazado de la red de saneamiento así lo aconseje, resulta más interesante que la factoría lleve a cabo su propia evacuación y depuración. Esta modalidad se ha incrementado últimamente, y en España, por sus peculiaridades, es muy común.

Para el primer caso expuesto, la red de saneamiento y estación depuradora debe ser costeada tanto por el municipio como por los industriales. La repartición de los costes pueden realizarse de acuerdo con el volumen y polución que aporta cada parte.

La valoración de la polución aportada por el municipio es clara, pues las características y volumen de los vertidos urbanos son conocidas con bastante aproximación y además son muy regulares. El municipio puede, a su vez, repercutir sobre los consumidores de agua una cuota para la contribución al saneamiento. Esta cuota se fija sobre el consumo de agua y se carga en la misma tarifa de agua potable.

La valoración de la nocividad o polución de los vertidos industriales es complicada, pues, si bien para los vertidos urbanos basta con conocer su contenido de materias en suspensión y demanda bioquímica de oxígeno para quedar definida con bastante precisión, no ocurre lo mismo en los industriales. Las características perjudiciales que definen la polución industrial son muy numerosas: pH, acidez libre, alcalinidad libre, demanda química y bioquímica, salinidad, hierro y otros metales, compuestos tóxicos, aceites, detergentes, etc., y, por otra parte, su volumen y concentración muy variable, lo que imposibilita calcular, ni siquiera con mediana precisión la polución de muchos vertidos industriales.

Esta valoración, principalmente en las industrias de tipo orgánico, se ha efectuado a partir de la población equivalente del vertido (el valor de un equivalente se considera en Europa de 55 a 60 gramos de DBO_5 -20° C.), pero no es posible aplicar este método a otros tipos de industria, especialmente la que manipula compuestos inorgánicos.

En estos casos se ha buscado un índice de polución en población equivalente (son muy utilizados los definidos por Imhoff incluidos en la referencia (2)) de acuerdo con las materias producidas, proceso de producción y número de operarios. En el caso de que la industria efectúe:

un tratamiento de sus vertidos antes de evacuarlos a la red municipal, se valora el rendimiento efectivo de dicho tratamiento. De este valor se deduce un coeficiente de reducción de la polución antes calculada que oscila de cero a uno.

La Asociación de la Cuenca del Sarre y Cooperativa de la Cuenca del Emscher y Lippe utilizan, actualmente, una fórmula según la cual la nocividad de las aguas residuales se calcula sobre los valores encontrados en cuatro determinaciones efectuadas con el agua residual. Estos valores, dispuestos sobre la fórmula [a], nos dan el coeficiente de dilución V , del vertido con un agua no polucionada de un río, para que la mezcla no sea perjudicial para la vida piscícola. En definitiva, este valor se puede utilizar como un índice de la polución relativa de los vertidos urbanos e industriales y, en consecuencia, sirve como base para una tarifa de saneamiento.

$$V = \frac{A}{Ad} + \frac{1B}{2Bd} + \frac{K-30}{Kd} + F - 1, \quad [a]$$

siendo el significado de cada letra:

- V = Coeficiente de dilución.
- A = Materias decantables en el vertido, en cm^3/l .
- Ad = Materias decantables admisibles en el vertido, en centímetros cúbicos/l.
- B = DBO_5 del vertido decantado.
- Bd = DBO_5 admitido en el efluente.
- K = Consumo de permanganato potásico en el vertido decantado.
- Kd = Consumo de permanganato potásico admitido en el vertido.
- F = Nocividad de las materias tóxicas, definida por el ensayo de dilución.

BIBLIOGRAFIA

1. "Modern Sewage Treatment Plants. How much do they cost? *Public Health Service of U. S. A.*, 1964.
2. "Epuration des Eaux Residuaires Mixtes Urbaines e Industrielles en Republique Federale Allemande". O. C. D. E. Paris, 1966.
3. "Estimating Sewage Treatment Plant Operation and Maintenance Cost". *Journal W. P. C. F.* February 1961.