

La depuración de las aguas residuales de Madrid

Por JOSÉ M.^a GUTIÉRREZ PAJARES, Ingeniero de Caminos.
Jefe de Instalaciones Sanitarias del Excelentísimo Ayuntamiento de Madrid.

I. — EL PROBLEMA DE LAS AGUAS RESIDUALES MADRILEÑAS

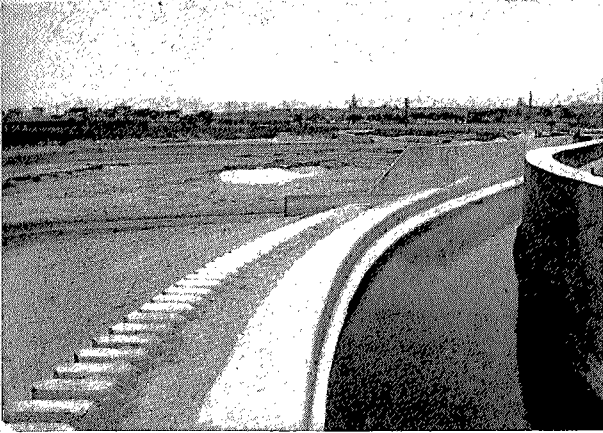
UNA población como Madrid, con su millón de habitantes, con una dotación de agua potable de 265 litros por persona al día, muy superior a la de casi todas las demás capitales europeas, y con cerca de 500 Km. de alcantarillas, casi todas ellas visitables, tiene que evacuar forzosamente un enorme volumen de aguas negras, y así es, en efecto, pues los colectores del Manzanares y del Abroñigal, unidos en uno solo en el barrio de la China, vierten diariamente cerca de 300 000 metros cúbicos de aguas residuales al río Manzanares, en el límite sureste del término municipal, un kilómetro, aproximadamente, más allá del puente de la Princesa. Este volumen diariamente evacuado equivale a un caudal continuo de 3 070 litros por segundo.

Si el río Manzanares fuera suficientemente caudaloso, con una corriente de 50 000 a 100 000 litros por segundo, el efecto que en él produjesen las aguas negras de Madrid sería relativamente pequeño y sanitariamente aceptable, puesto que, a causa de la oxidación producida por el aire y el sol a lo largo de su recorrido, se destruiría rápidamente la materia orgánica, y la autodepuración del río se lograría a corta distancia del vertido. Pero no es éste el caso, ya que el Manzanares es un río de una extraordinaria modestia, que durante varios meses del año no conduce más de 750 litros por segundo; es decir, la cuarta parte de lo que las alcantarillas vierten. Se comprende que el río, a partir de la China, se convierta en un verdadero colector. Bastaría que la población de Madrid consumiera una cuarta parte más de agua potable que la que hoy utiliza para que las aguas del alcantarillado estuvieran igual de sucias que hoy lo están las del río Manzanares aguas abajo de la capital.

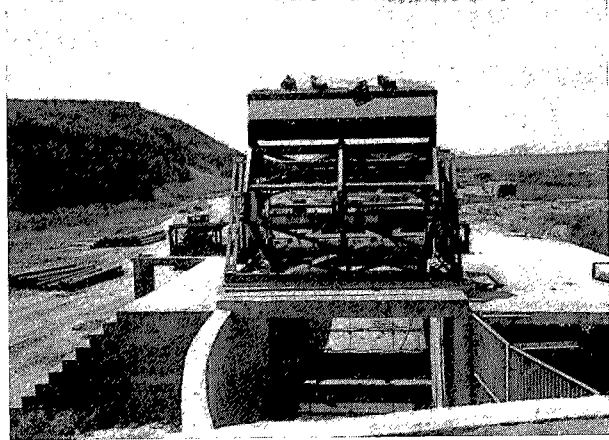
Este estado de ensuciamiento, impurificación o septicidad tan extraordinario se prolonga, como es lógico, a gran distancia, por los cursos de los ríos Manzanares, Jarama y Tajo. El mejor índice del estado de impurificación de unas aguas por materia orgánica putrescible es la denominada "demanda bioquímica de oxígeno" de las mismas. En el cuadro siguiente se puede comparar relativamente el estado de impureza de esos ríos en diversos puntos de su recorrido:

	D. B. de O. Partes por millón
Río Manzanares, antes de verter las aguas residuales (Puente de la Princesa).....	30
Río Manzanares, en el lugar del vertido de las aguas residuales	360
Río Manzanares, a 7 Km. después del vertido (cerca de Perales del Río).....	167
Río Jarama, a 20 Km. después del vertido y 1 Km. después del Manzanares.....	141
Río Jarama, a 36 Km. después del vertido (frente a San Martín de la Vega).....	121
Río Jarama, a 46 Km. aguas abajo del vertido, 1 Km. después de recibir el Tajuña.....	106
Río Jarama, a 61 Km. aguas abajo del vertido, en la calle de Lemus, de Aranjuez.....	91
Río Tajo, a 74 Km. del vertido, después de recibir la acequia del Jarama.....	82

Resulta así que (a pesar de haber sido hechos los ensayos en el mes de mayo, en época en que el río Manzanares tenía un caudal bastante abundante) a los 82 Km. de Madrid, aun está el río Tajo casi tres veces más impurificado que lo está el Manzanares cuando pasa por la capital, donde tampoco se puede considerar como un modelo de pureza por la falta de protección de sus tramos altos, anteriores



Vista parcial del aliviadero general. La segunda fila de dientes, más pequeños, queda oculta por la arena.



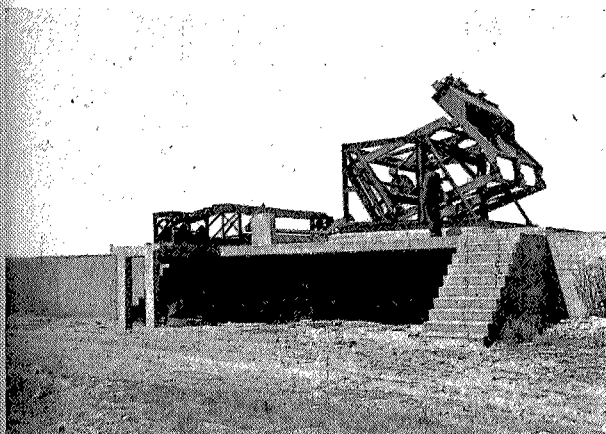
Entrada a la rejilla y "by-pass".

a Madrid. Seguramente, hasta 150 Km. del vertido; es decir, más allá de la imperial Toledo, no recobran las aguas el estado, relativamente ya malo, que tenían antes del vertido de las aguas madrileñas.

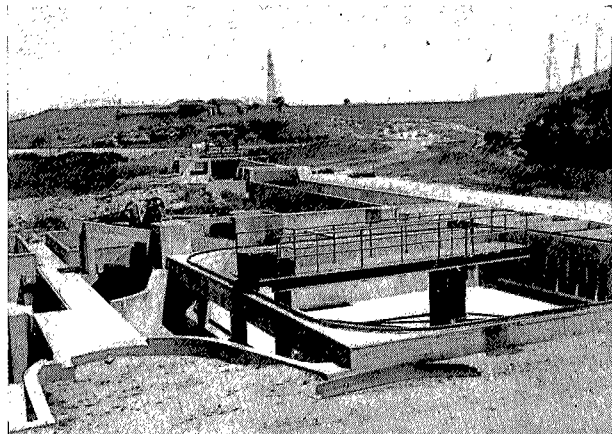
Las impurezas contenidas en las aguas residuales, y, por lo tanto, en el río, son, principalmente, de dos clases: Materias orgánicas putrescibles, ávidas de oxígeno, que lo van robando a las aguas del río, y que, cuando carecen del suficiente, entran en putrefacción, y gérmenes patógenos de todas clases, en especial gérmenes de las enfermedades intestinales humanas: Fiebres tifoideas, paratíficas, disenterias, colitis, etc., etc.

Respecto a las materias orgánicas putrescibles, una buena parte sedimenta en el fondo y orillas de los primeros kilómetros del río (hasta la confluen-

cia del Jarama y en la presa del Rey), donde producen, en tiempo caluroso, fuertes putrefacciones, con desprendimiento de intensos olores fétidos, que hacen repeler la estancia en sus cercanías e impiden que un río, ya de bastante caudal (cinco veces mayor, en verano, del que tiene a su paso por Madrid), pueda ser aprovechado para solaz del pueblo de la capital, que tiene que ir hasta el tramo superior del Jarama si quiere gozar de las delicias de una corriente de frescas aguas o del tranquilo deporte de la pesca. Otra gran parte de la materia orgánica sigue río abajo, causando la impurificación ya mencionada, que hace también repulsivos, antiestéticos e impropios para cualquier aprovechamiento el tramo inferior del Jarama y una gran longitud del río Tajo.



Vista lateral de la rejilla.

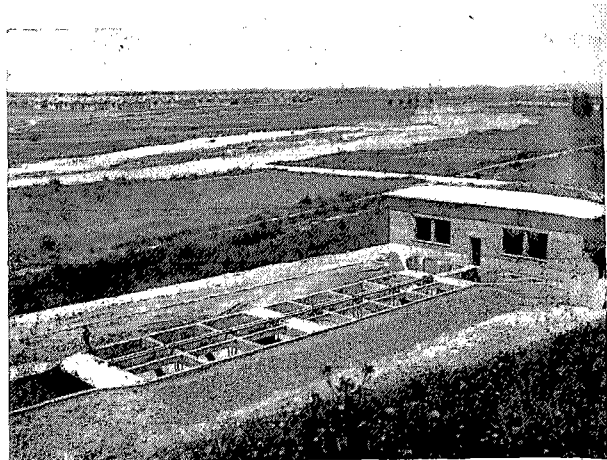


Arenero mecánico.

Otro tanto podría decirse de la acequia del Jarama, que nace en la presa del Rey y termina en el Tajo, más allá de Aranjuez.

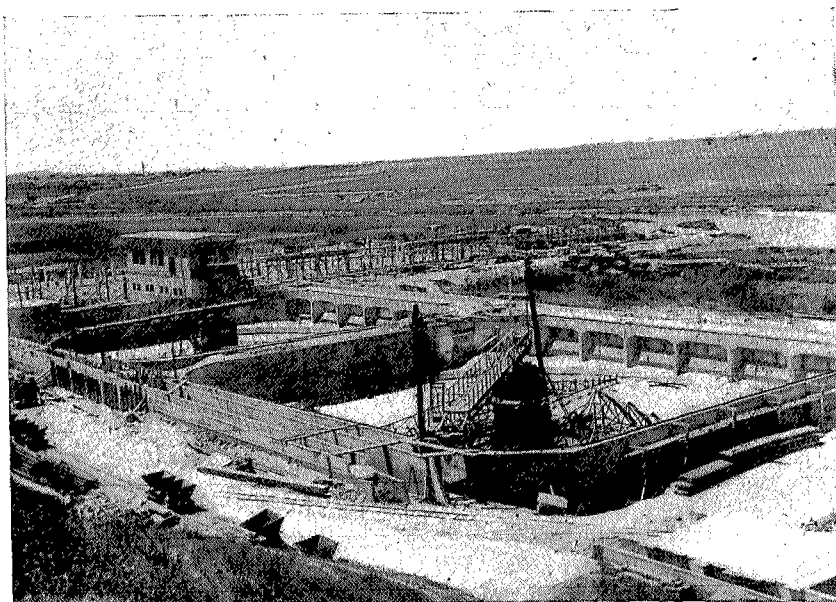
Es indudable que en las márgenes de un Manzanares ya abundante y limpio se crearían colonias y fincas de recreo que revalorizarían la parte baja de Madrid, Villaverde, Perales, etc., y que la estancia en los pueblos de San Martín de la Vega, Titulcia, Aranjuez, etc., sería mucho más agradable que hoy lo es. Pero, si son grandes los perjuicios que causa esa materia orgánica arrojada al Manzanares, son mayores aún los de carácter sanitario producidos por los gérmenes patógenos que con aquéllas se vierten.

En un notable artículo del Dr. Elvira Goicoechea, sobre la lucha contra las infecciones hídricas en el medio rural, publicado en la revista *Medicina Práctica*, de Zaragoza (núms. 13, 14 y 15 de 1944), se dice que las aguas superficiales, después del vertido de las residuales urbanas, "se convierten en un medio de cultivo, en el que los gérmenes se mantienen no sólo en condiciones de vitalidad durante más tiempo que en el agua pura, sino que proliferan en una parte del curso de la autodepuración". Más adelante, dice que los gérmenes del grupo tíficoparático, esparcidos sobre el suelo, "desaparecen en su mayor parte en un plazo de cinco a diez días, aunque, según Conradi, pueden persistir en suelos cultivados, a temperatura de unos 15°, hasta quinien-

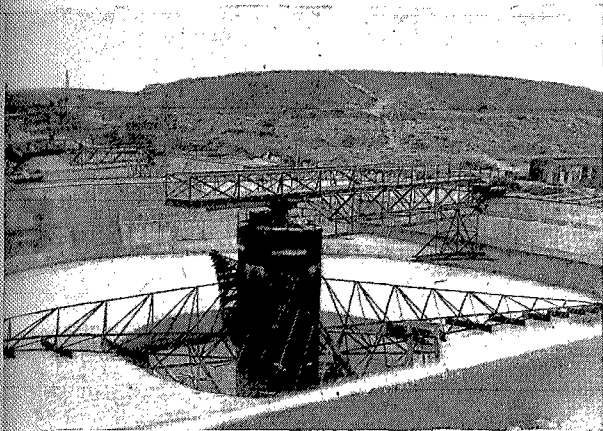


Casa de bombas de la primera elevación y cámara de grasas.

tos días", y que "el 95 por 100 de los *Bac. Típhi* vertidos en una agua superficial mueren dentro de la primera semana y han cesado prácticamente de existir después de un mes; sin embargo, la minoría superviviente puede persistir hasta dos meses". Los plazos que se citan son lo suficientemente largos para que los gérmenes vertidos al río pasen a los suelos cultivados que se riegan con sus aguas y, después, vuelvan a la población con las frutas bajas y las verduras que en ellos se recojan. La extensión de las huertas regadas en Madrid (limitándonos hasta Aranjuez, solamente) con aguas fuertemente contaminadas por las residuales, es la siguiente:



Tanques de sedimentación previa, en período de montaje de la maquinaria.



Interior de un tanque de sedimentación previa.

A) Huertas regadas con aguas cogidas directamente de los colectores, aguas arriba de la estación depuradora:

a) Dentro del término municipal.....	133 Ha.
b) Fuera del término municipal.....	71 "

Total de huertas no afectadas por la estación depuradora de aguas residuales. 204 Ha.

B) Huertas regadas con aguas residuales, que quedarán afectadas por la estación depuradora:

c) Con aguas de los colectores.....	178 Ha.
d) Con aguas de los ríos Manzanares y Jarama y del Canal del Jarama.....	4 500 "

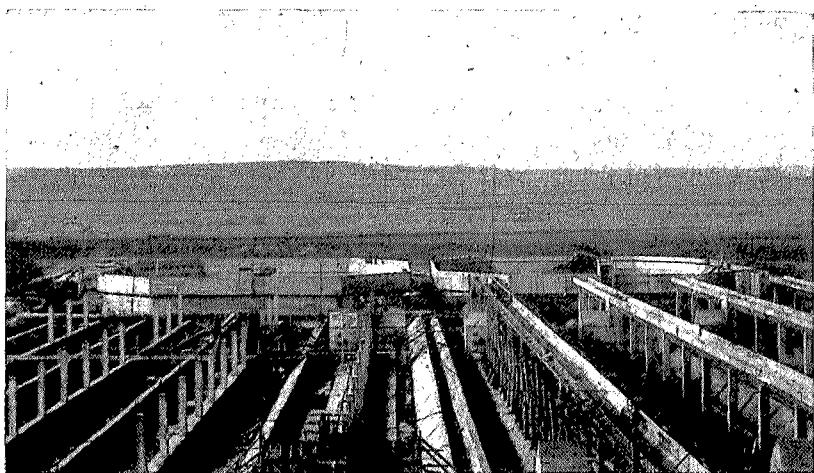
Total de huertas afectadas por la estación depuradora de aguas residuales. 4 678 Ha.

Esta enorme extensión de huertas regadas con aguas prácticamente residuales y cuyos productos

se consumen en Madrid, tiene que producir en la población un estado sanitario deficiente. Y así sucede, en efecto, pues mantiene una endemia de fiebres tifoideas y paratíficas, intensificadas en el verano, y que va unida a otra serie de trastornos intestinales estivales que todos los madrileños sobradamente conocen. De un documentado estudio hecho por los Dres. D. Pedro Blanco y D. Primitivo de la Quintana, sobre la fiebre tifoidea en Madrid (Memoria del Instituto Provincial de Sanidad, 1941), tomamos algunos de los datos que exponemos a continuación:

En veinticinco años, de 1917 a 1941, ambos inclusive, ha habido en Madrid 2 588 muertes, oficiales, por fiebre tifoidea. En el año de 1941 hubo 53 defunciones oficiales por dicha infección y 929 casos oficiales de la enfermedad, lo que da un coeficiente de mortalidad del 5,7 por 100. Aplicando este coeficiente a las defunciones en los veinticinco años citados, resulta que ha habido en ellos 45 400 enfermos de fiebre tifoidea, cifra bastante elevada si se compara con la de la población de Madrid. El que esto escribe fué uno de esos 45 400 casos.

Es bien conocido el teorema de Hazen, o sea que por cada defunción por fiebre tifoidea que se evite se reduce en 2 a 5 unidades la cifra de mortalidad total; es decir, que si se hubiera exterminado de Madrid la fiebre tifoidea se hubieran evitado en el período 1917-1941, de 5 176 a 12 940 defunciones. Y que la fiebre tifoidea puede ser exterminada, nos lo demuestran gran número de ciudades inglesas y alemanas. Por ejemplo: en Londres, con su enorme población, pasan años sin que se pro-



Partes internas de los tanques de aireación. Al fondo, dos tanques de sedimentación final.

duzca un solo caso de esa enfermedad, debido, entre otras causas, a la protección obligatoria de los ríos contra la impurificación por aguas residuales.

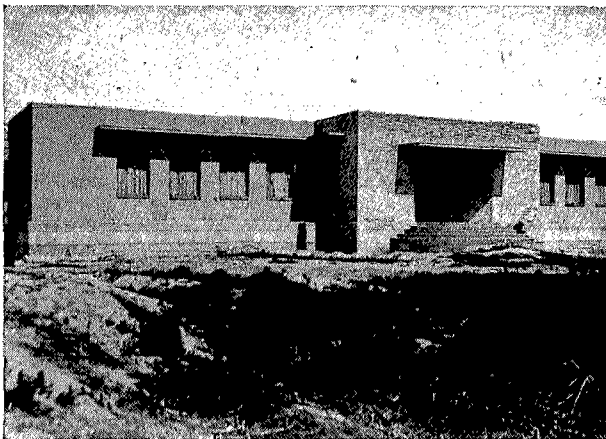
A medida que en Madrid se fué construyendo el nuevo alcantarillado han ido desapareciendo las epidemias tíficas y ha disminuído también la importancia de la endemia; pero la curva de esta endemia tiende a una horizontal correspondiente a 25-55 defunciones oficiales al año, cifras relativas a los años 1932 a 1941, en que el alcantarillado era ya prácticamente completo. Y la causa principal del mantenimiento de esta endemia es el consumo en crudo de verduras procedentes de las 4 882 hectáreas de huertas que riegan con aguas negras, anteriormente mencionadas. No vamos a extendernos en justificar esta afirmación, y sólo señalaremos tres hechos que la comprueban.

1.º De los 929 casos de fiebre tifoidea habidos en 1941, se pudo tener datos ciertos sobre el consumo de frutas y verduras peligrosas en 497, resultando lo siguiente:

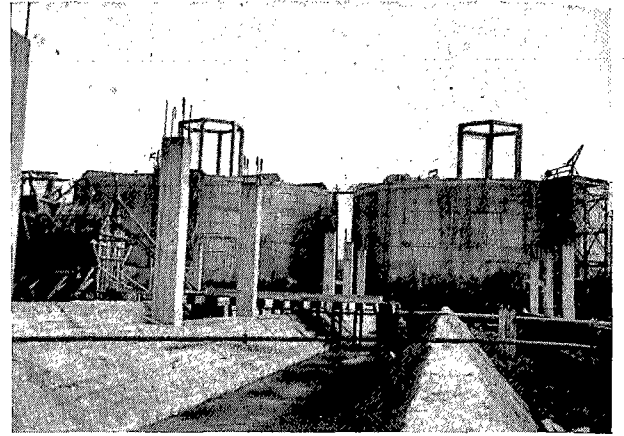
Comieron ensaladas en los treinta días anteriores	374	
Comieron frutas de bajo cultivo id. id.	61	
No especifican qué clase de vegetales crudos id. id.	18	
<i>Suma</i>	453	= 91,2 %
No comieron vegetales crudos id. id....	44	= 8,8 %

Los porcentajes son tan elocuentes que no parece que puedan ser atribuídos al azar.

2.º En Madrid se consumen anualmente unas 40 000 toneladas de frutas y verduras peligrosas



Edificio del Laboratorio.



Vista de dos tanques de digestión.

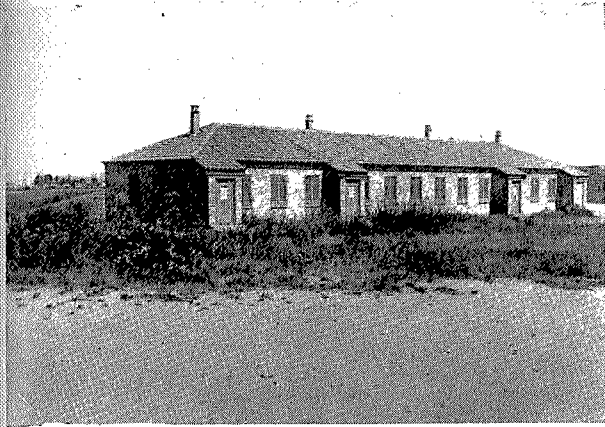
(fresa, fresón, lechuga, escarola, pepino, tomate, cebolleta, cebolla, rábano, chufa, apio y guindilla), y la curva de su distribución por meses sigue, con un mes de adelanto, la misma marcha general que la curva de los casos mensuales de fiebre tifoidea.

3.º En los años 1936 a 1939, desde que las tropas Nacionales llegaron a la parte Sur de Madrid hasta la liberación de la ciudad, se encontraban la mayor parte de las huertas regadas con aguas residuales en la línea de fuego o detrás de ella, por cuya razón fué difícil consumir verduras procedentes de las mismas. Durante esa época bajaron al mínimum que se conoce en Madrid las defunciones por fiebre tifoidea (18 en 1938), a pesar del enorme tráfago de milicianos y evacuados de toda clase, y a pesar de la evidente desorganización general sanitaria.

Con lo expuesto hasta aquí basta para darse perfecta cuenta de que el vertido de las aguas residuales madrileñas al río Manzanares no sólo causa perjuicios graves a todos los poblados de las riberas de los tramos impurificados del Manzanares, Jarama y Tajo, sino que también se deja sentir en el estado sanitario de la misma población de Madrid y en sus posibilidades de extensión y esparcimiento.

II. — SOLUCIONES AL PROBLEMA

Para resolver el problema planteado por el vertido directo de las aguas cloacales al Manzanares no cabía más solución de conjunto que la construcción de una estación depuradora de dichas aguas residuales antes de verterlas al río, depuración que habría de llevarse a fondo en vista de los caudales relativos de aquéllas y de éste. La necesidad de esta



Uno de los grupos de cuatro viviendas para obreros.

solución la sintió el Ayuntamiento de Madrid desde hace más de veinte años, y, después de algunos intentos parciales, plasmó en el encargo hecho a nuestro conocido compañero D. José Luis Escario para que, conjuntamente con el Arquitecto municipal D. José de Lorite, confeccionara, en 1931, un proyecto completo de estación depuradora. Con los datos acopiados hasta entonces y sin tiempo ni consignación para hacer estudios sistemáticos sobre las aguas residuales de Madrid, sobre el subsuelo del lugar de emplazamiento, ni sobre las variaciones de nivel del río, hubieron de redactar un proyecto basado en las características normales, en el que se daba solución al problema por medio de una estación depuradora moderna a base de sedimentación previa, digestión separada de lodos, tratamiento biológico por lodos activos en tanques de simple aireación, con sedimentación posterior en tanques

Dortmund profundos, y cloración de parte del caudal clarificado. No entramos en detalles sobre este proyecto primitivo porque fué ampliamente descrito por su autor en los números de marzo y abril de 1931, en esta misma Revista. La construcción de la estación fué sacada a concurso y adjudicada a una empresa española, en colaboración con una casa extranjera especializada en maquinaria para instalaciones de este tipo. Con arreglo a este proyecto primitivo se construyó solamente el emisario general, de cerca de uno y medio Km. de longitud, el laboratorio y un grupo de cuatro viviendas para obreros.

Pero al acometer la ejecución de la estación depuradora propiamente dicha se vió la necesidad de proceder a una revisión y modificación total del proyecto, encargándoseme en ese momento de la dirección de las obras y de la redacción del proyecto reformado, a la vista de los anteriores estudios del Sr. Escario y de los datos concretos sobre las aguas residuales y las condiciones del terreno que fué posible acopiar después de la aprobación del proyecto primitivo. Las razones que aconsejaban la reforma eran, principalmente, las siguientes:

1.^a Las características de las aguas residuales madrileñas se diferenciaban bastante de las normales, asemejándose más a las americanas que a las europeas.

A este resultado se llegó después de verificarse más de 3 500 ensayos sistemáticos por el Doctor Manzanete, primero, y por los Dres. Elvira y Fernández Ruiz, después, con los que se obtuvo un conocimiento completo de la composición de dichas aguas residuales y de sus variaciones, cuyo resultado



Espigones de defensa de la estación. Se aprecia la ya abundante sedimentación producida.

medio en tiempo seco se condensa en el cuadro siguiente:

Materias por habitante y día	Orgánicas	Minerales	Totales	
	Gramos	Gramos	Gramos	
En suspensión	(Sedimentable	55	27	82
	(No sedimentable.....	17	1	18
	(Total	72	28	100
En disolución	56	81	137	
Total de sólidos.....	128	109	237	
Demanda bioquímica de oxígeno.....			95	

2.^a Adaptación de los diversos elementos de la estación a la naturaleza del terreno, de acuerdo con los resultados de los sondeos verificados por la Jefatura de Sondeos en 1933, con los que se vió que el suelo estaba formado por una capa vegetal de 0,90 m. de espesor medio, otra de arena fina anegada, de unos 8 m., con algunos lentejones de fango, y una base inferior de gran espesor, formada por yesos miocenos arcillosos. La capa freática de agua se hallaba a menos de 2 m. de la superficie, estaba nutrida por las abundantes aportaciones de los valles de la margen izquierda del río y contenía sulfato cálcico (y también magnésico), en disolución, en proporción media del 25 por 100 de la de saturación.

3.^a La necesidad de acoplar las unidades a las características de la nueva maquinaria adoptada.

4.^a Disminuir los gastos de explotación, especialmente el consumo de energía en la depuración por lodos activos.

5.^a Completar las instalaciones con todos los servicios necesarios para el funcionamiento normal y autónomo de la estación; y

6.^a Conveniencia de proyectar una estación, realizable por etapas, en cumplimiento de las instrucciones de la Junta Central de Sanidad y teniendo en cuenta el crecimiento de la población y los planes del Canal de Isabel II sobre la ampliación del abastecimiento de aguas potables.

Con arreglo a estas necesidades redacté el proyecto, reformado en 1935, el cual, aprobado por el Excmo. Ayuntamiento, se halla en ejecución. Más adelante haremos una descripción general de este proyecto definitivo, que, por la circunstancia de reunirse todas las aguas residuales en un único emisario, resultaba ser en aquel momento el proyecto de estación depuradora más importante de toda Europa.

Pero la construcción de la estación depuradora, por sí sola, no solucionaba la totalidad del problema, pues quedaban algunas huertas regadas con aguas residuales aguas arriba de la estación y, especialmente, dentro del término municipal de Madrid, a las que era difícil que se pudiera suministrar agua depurada. El Ayuntamiento solucionó recientemente este aspecto del problema, acordando la expropiación del derecho al riego con aguas negras en toda la superficie de huertas (relativamente pequeña, pero importante por ser contigua a la población) que no podrán utilizar aguas depuradas.

III. — DESCRIPCIÓN SUCINTA DEL PROYECTO DEFINITIVO DE ESTACIÓN DEPURADORA

En nuestro proyecto reformado, aprobado con carácter definitivo y en estado de ejecución muy avanzado, se sigue la misma marcha general del proyecto primitivo; es decir: sedimentación previa, depuración biológica por lodos activos y digestión separada de los lodos recogidos, que era la más apropiada al caso de Madrid. En cambio, dentro de este esquema general se modificaron esencialmente los tipos y características de las diversas unidades que componen la estación, por cuyo motivo vamos a hacer una descripción sucinta de la misma, sin meternos en detalles puramente técnicos que, en todo caso, podrían ser objeto de otros artículos posteriores.

Estudiamos la estación para ser construída en dos etapas: una, de ejecución inmediata para el tratamiento del caudal medio de dos metros cúbicos por segundo, que corresponde a una población de 620 000 habitantes, y otra etapa futura que se completará por una o varias ampliaciones de la primera, una vez que, por su funcionamiento, se haya experimentado su buena marcha. Esta Estación Depuradora total se calculó partiendo de una población de 1 300 000 habitantes, un volumen futuro de 400 000 m.³ diarios, que corresponden a una caudal medio de 4,6 m.³ por segundo y a una dotación de 315 litros por habitante y día; un aumento en el caudal medio diurno del 20 por 100, y un caudal máximo de 7,360 m.³ por segundo, de acuerdo con las variaciones halladas experimentalmente. De estas bases y de la prescripción dada por Sanidad, de que se experi-

mentase el tratamiento por cloro después de la sedimentación previa en una parte del caudal depu-

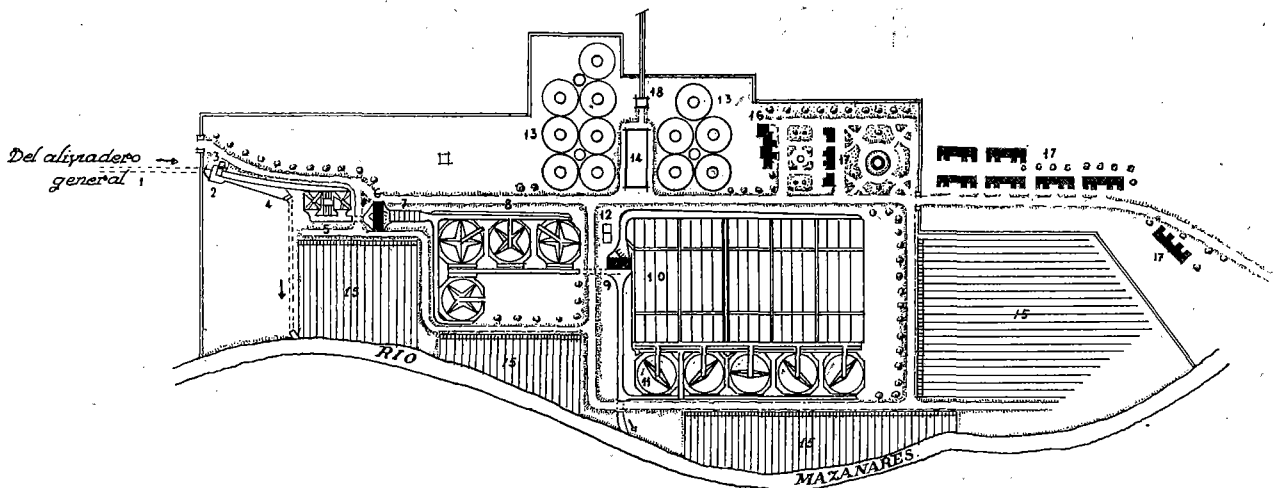
rado de la primera etapa, resulta el siguiente acoplamiento:

FASES DE DEPURACIÓN	ETAPA ACTUAL			ETAPA FUTURA		
	Número de habitantes	Caudal medio m. ³ : s.	Volumen diario m. ³	Número de habitantes	Caudal medio m. ³ : s.	Volumen diario m. ³
Rejilla	950 000	3,070	265 000	1 300 000	5,520	400 000
Areneros, cámara de grasas y sedimentación previa	620 000	2,000	172 500	íd.	íd.	íd.
Tratamiento biológico	545 000	1,760	152 000	íd.	íd.	íd.
Cloración	75 000	0,240	20 500	—	—	—
Digestión de lodos	Lo preciso para el tratamiento de los lodos que se produzcan.					

En el plano general de la instalación se pueden observar los diferentes elementos de que consta y la disposición de los mismos, cuyas características principales son las siguientes:

a) *Aliviadero general*, de crecidas, situado en "La China", antes del emisario general. Tiene 96 m. de longitud y es capaz para el vertido al río de 100 metros cúbicos por segundo, en los

Planta general de la Estación depuradora de las aguas residuales de Madrid.



- | | | |
|--------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| 1. Colector general | 7. Cámara de grasas | 13. Tanques de digestión |
| 2. Rejilla automática | 8. Tanques de sedimentación previa | 14. Casa de máquinas |
| 3. Desintegrador | 9. 2.ª Elevación y aliviadero | 15. Campos de desecación |
| 4. Aliviadero secundario | 10. Tanques de aireación | 16. Laboratorio |
| 5. Separadores de arena | 11. Tanques de sedimentación final | 17. Edificaciones y viviendas |
| 6. 1.ª Elección | 12. Pozo de bombas de lodos | 18. Caseta de transformación |

Figura 1.ª

momentos de lluvia de gran intensidad, con una lámina vertiente de 0,73 m. El umbral tiene forma de azud y se facilita la disipación de la energía cinética por medio de un doble dentado, como puede observarse en la sección.

b) *Colector general*, de 1 375 m. de longitud, de sección análoga a la del proyecto primitivo. Su pendiente es del 0,0005, y las velocidades están

un atasco momentáneo de aquella produzca una elevación excesiva del nivel de las aguas. La sección de la rejilla con el esquema del aparato de limpieza se puede ver en la figura 3.^a.

El desintegrador de gruesos es giratorio, de martillos, y desmenuza las partes blandas de éstos y las reenvía a las aguas residuales, mientras que las duras son lavadas y extraídas.

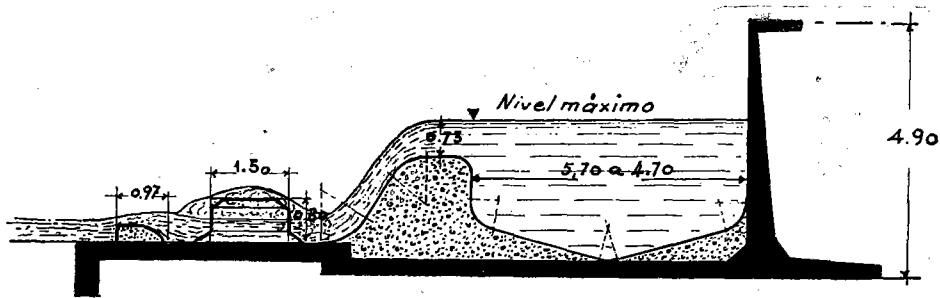


Figura 2.^a.

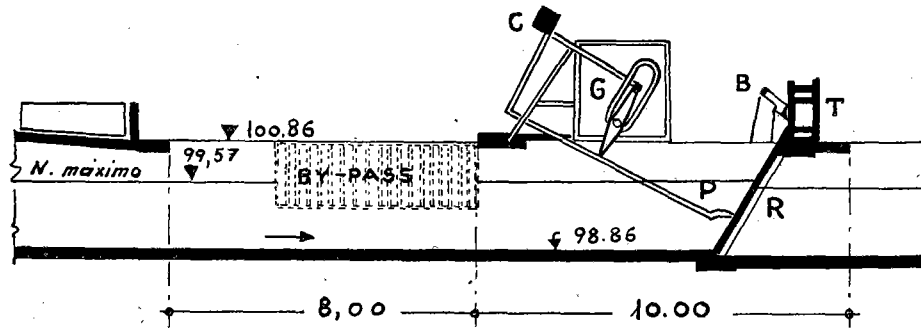


Figura 3.^a.

comprendidas entre 0,78 y 1,42 m./s., que corresponden a los caudales mínimo y máximo.

c) *Rejilla de entrada* a la estación para separación de las materias gruesas arrastradas por las aguas. Es plana, de 4,50 m. de ancho por 3 m. de altura, y con una inclinación de 60° en el sentido de la corriente. Los huecos entre barrotes tienen una anchura de 25 mm., y está provista de un aparato de limpieza automática por peine, tipo Dorr KN, que deposita los gruesos recogidos en un transportador ganguil transversal y horizontal, que los envía a un desintegrador. En derivación con la rejilla se dispuso un canal en "by-pass", precedido por una rejilla sencilla de amplios huecos, para evitar que

d) *Dos areneros*, con recogedores mecánicos Dorr, giratorios, para las arenas, que son enviadas a unos pocillos laterales, y de allí, extraídas y lavadas por unas bombas neumáticas y un aparato lavador. Entre ambos areneros mecánicos se dispone de otro arenero supletorio, sencillo, para caso de avería en alguno de aquéllos y como "by-pass". La arena depositada en este arenero se recoge a mano hacia los pocillos de las bombas neumáticas. Las arenas lavadas caen en vagonetes, que las transportan a los campos de desecación de lodos.

En la etapa actual sólo se construye uno de los areneros mecánicos y el supletorio, cuyas secciones se representan en la figura 4.^a, donde también se puede

observar un esquema del aparato lavador. La duración de la sedimentación de arenas es de 1,5 minutos.

e) *Primera elevación.* — La necesidad de evitar grandes subpresiones en los tanques de sedimentación previa, cuando estén vacíos, las cuales obligarían a adoptar estructuras costosas para asegurar su resistencia e incluso su estabilidad (sobre esta esta-

En la primera elevación, a la que llegan las aguas desprovistas ya de gruesos y de arenas, se colocan en la etapa actual cuatro de las ocho bombas futuras.

f) *Cámara de grasas.* — Antes de pasar a la sedimentación de lodos, atraviesan las aguas un tanque de aireación previa para desmenujar las grasas y hacer que éstas se acumulen y floten sobre la

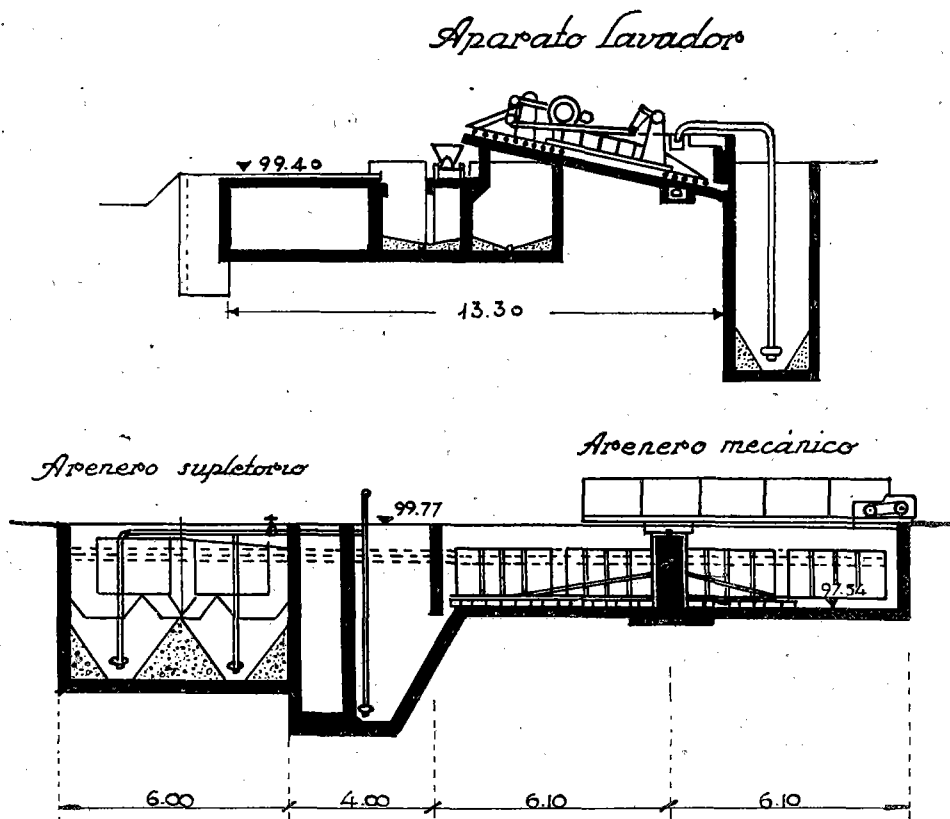


Figura 4.ª.

bilidad hicimos interesantes ensayos en el Laboratorio de la Escuela de Caminos en colaboración con el Sr. Escario), y también la de reducir los costosísimos agotamientos que habrían de hacerse para la construcción de las unidades más profundas de la estación, hizo preciso el disponer dos elevaciones de las aguas residuales: una, entre los areneros y la cámara de grasas, y otra, antes de la depuración biológica. La altura de elevación es, en ambas, de 1,50 metros. En cada elevación habrá ocho bombas, para 920 litros por segundo cada una, de tipo centrífugo "anticlog", semejantes a las instaladas en la Estación Depuradora de Nueva York.

superficie. Tiene 25 m. de longitud y una sección transversal útil de 20 m.², tardando las aguas de dos a cuatro minutos en atravesarlo. El aire comprimido, para favorecer la desmenujación y evitar el depósito de lodos, se inyecta, a razón de 15 metros cúbicos por minuto, por medio de un tubo longitudinal, agujereado inferiormente, y unido a un aparato balancín que lo mueve en vaivén sobre el fondo (fig. 5.ª).

g) *Tanques de sedimentación previa.* — La sedimentación de lodos se logrará en cuatro grandes tanques (de los que ahora sólo se construyen dos), de 35 m. de lado en planta, 3,50 m. de profundi-

dad, en la periferia e inclinación del 1: 12 en el fondo hacia el pocillo central, donde los lodos se concentran y del cual pasan a un profundo pozo, separado, de recogido y elevación. Los tanques son cuadrados y van provistos de recogedores de lodos tipo Dorr que, además del movimiento independiente del rastrillo central y del puente y rastrillo de esquinas, presentan la novedad del mecanismo giratorio en el pocillo de lodos para concentrar éstos y disminuir así su volumen (fig. 6.^a).

aguas clarificadas, pues un 12 por 100 de las mismas se verterá directamente al río Manzanares después de ser tratadas por cloro a razón de unos 22 gr. por metro cúbico.

i) *Tanques de aireación.* — La segunda elevación envía las aguas a cinco tanques de aireación (en la actual etapa se construyen sólo dos), de 104 m. de longitud y 36 m. de anchura cada uno. Cada tanque va dividido longitudinalmente en cuatro canales dobles (fig. 7.^a). Su profundidad útil (hasta el

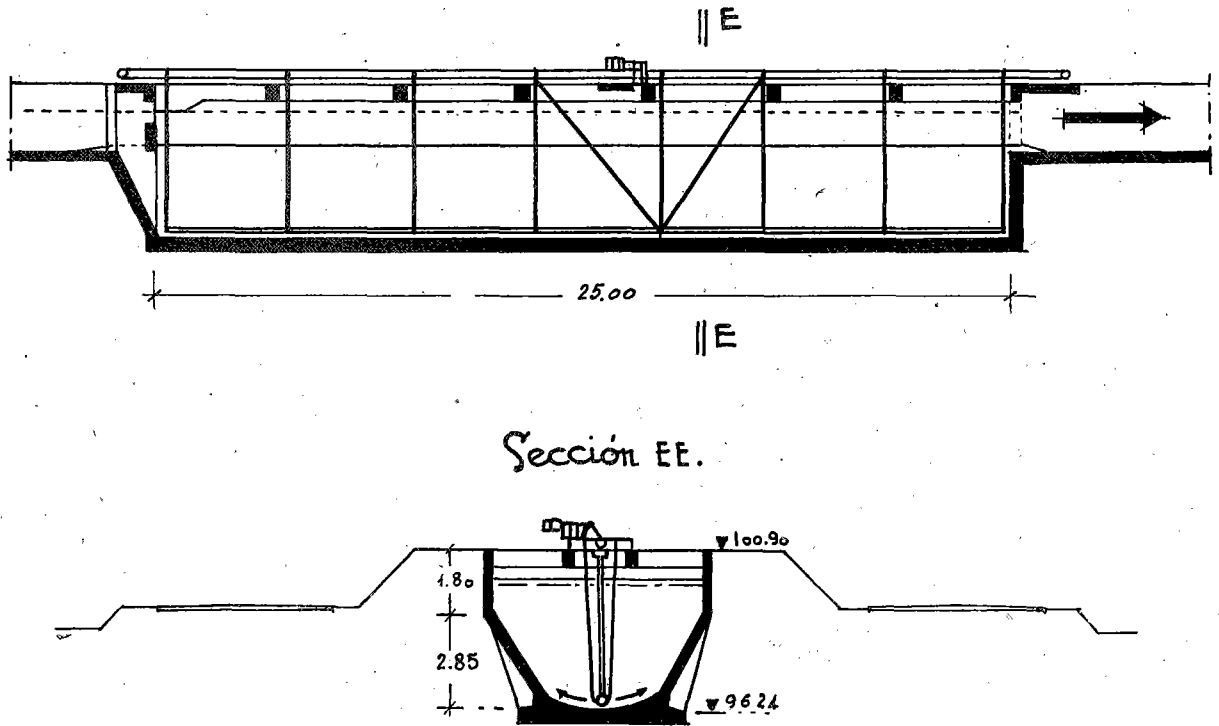


Figura 5.^a

Debido a la facultad de los lodos madrileños para sedimentar más rápidamente de lo normal, se limitó el período de sedimentación para el caudal medio diurno a una hora, tiempo que emplean las aguas en atravesar los tanques.

Las grasas son recogidas por una raqueta superficial, y extraídas por unas válvulas que se abren a cada vuelta del puente, pasando al pozo de recogida de lodos.

h) *Segunda elevación.* — Desembarazadas las aguas de las materias sedimentables, o sea clarificadas, pasan a una segunda elevación, semejante a la primera ya descrita, en la que actualmente se instalan tres de las ocho bombas futuras.

En la actual etapa no se elevará el total de las

nivel de agua) es de 4,50 m., y las aguas tardan en recorrerles de cuatro a cinco horas. En ellos se produce la depuración biológica por lodos activos.

Para ello se inyecta aire por la parte baja de los tanques, en proporción de 1,5 m.³ de aire por m.³ de agua, al mismo tiempo que unos mecanismos longitudinales, giratorios, de paletas, agitan la mezcla de aire, agua y lodos activos. Los microorganismos que forman los lodos activos absorben así, y oxidan, la materia orgánica que contienen las aguas a beneficio de su nutrición y desarrollo, por lo que se van formando continuamente nuevos lodos activos. Al objeto de poder experimentar el acoplamiento definitivo que produzca un rendimiento mayor, se han proyectado estos tanques de forma que pue-

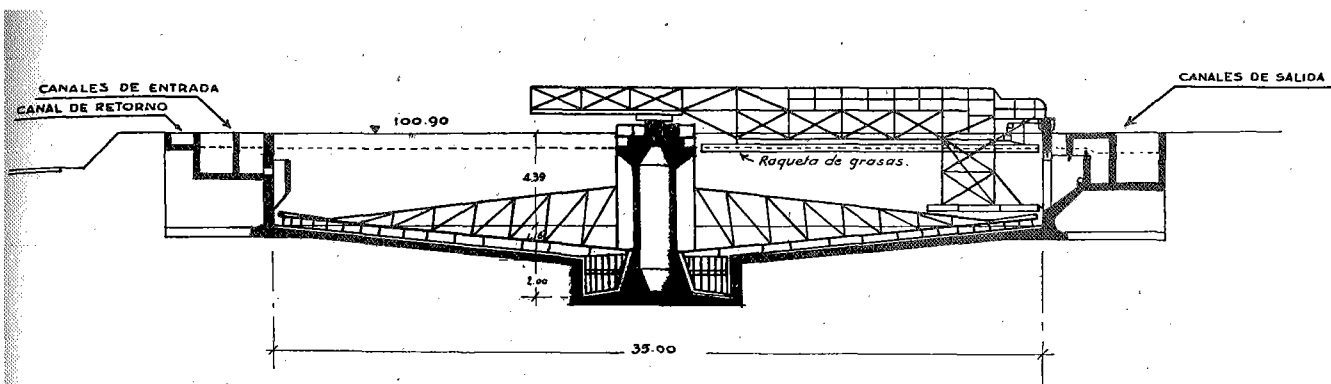


Figura 6.^a

dan ser utilizados sin reaireación de lodos activos o con diversas combinaciones de reaireación. Esperamos de esta forma llegar a un rendimiento de depuración del 90 por 100 en el proceso biológico.

j) *Tanques de sedimentación final.*— Las aguas salen de los tanques de aireación mezcladas con los lodos activos que hay que separar. Esto se logra en cinco tanques de sedimentación final, de 34 m. de diámetro y 5,50 m. de profundidad en la periferia, de los que ahora sólo se construyen dos. La entrada del agua se hace por el centro del tanque, y la salida tiene lugar por un vertedero que corre a lo largo de toda la pared del mismo (fig. 8.^a). Está provisto de un recogedor circular de lodos, tipo Dorr, que, después de sedimentados, los arrastra continuamente hacia el centro del tanque. El puente es fijo y bajo él va instalado el canal que conduce las aguas a la entrada central. El agua que sale por la periferia estará limpia y perfectamente depurada, y será vertida al río Manzanares, o bien pasará (en el futuro), a la instalación de bombeo para ser elevada, en parte, a los nuevos canales de riego.

Los lodos activos que se acumulan en el fondo de los tanques son extraídos, con abundante agua, por medio de unas bombas centrífugas especiales, de eje vertical, colocadas en unos pocillos adosados a aquéllos, las cuales retornan una proporción determinada de lodos (un 8 a 10 por 100 del caudal

de aguas que haya de depurarse, medidos después de una hora de sedimentación) para que, volviendo a los tanques de aireación, produzcan allí sus efectos depuradores. El resto, o sea el exceso que continuamente se está formando, pasa por un canalillo a los tanques de sedimentación previa, donde se deposita conjuntamente con los lodos frescos, pero con mucha menos agua que lo hacen en los de sedimentación final, con lo que se disminuye notablemente su volumen.

De lo expuesto hasta ahora se deduce que, diariamente, se producirá una gran cantidad de lodos, frescos y activos, que hay que extraer de una manera continua de los tanques de sedimentación previa. Esta cantidad será de cerca de 3 000 m.³ en la estación completa, y de más de 1 200 m.³ al día en la etapa actual, siendo necesario reducir estos volúmenes y convertir los lodos en materias estables e inocuas, incapaces de entrar en putrefacción. Para lograrlo, se someten al siguiente tratamiento:

k) *Tanques de digestión.*— Desde el pozo de bombeo de lodos, de 7 m. de profundidad, donde van colocadas tres bombas centrífugas horizontales, se trasegarán éstos a doce grandes tanques de digestión, de 6 000 m.³ de capacidad cada uno, de los cuales se construye un grupo de cinco en la actual etapa.

Estos tanques, de 27 m. de diámetro y 11,10

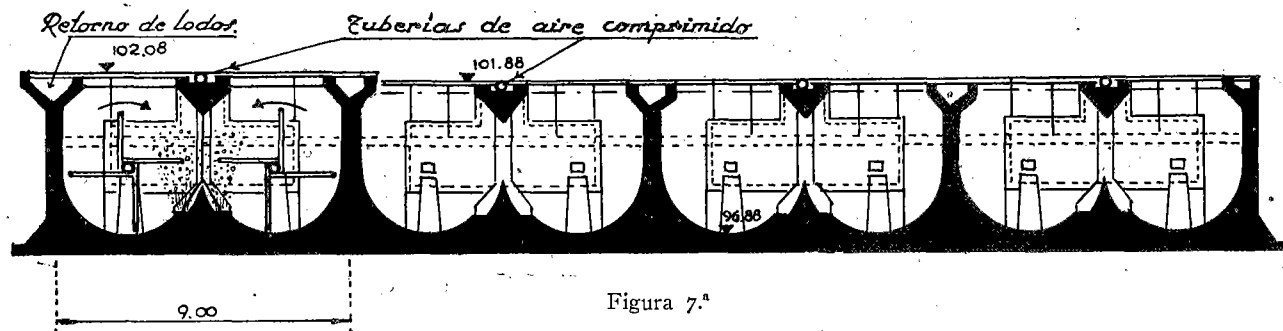


Figura 7.^a

metros de altura interior, van herméticamente cerrados con una cubierta de hormigón, provista de tres aberturas rectangulares y otra central, circular, de 6,40 m. de diámetro (fig. 9.^a).

Por los orificios rectangulares penetran tres aparatos de agitación excéntrica, formados por tuberías por las que circula el agua de calefacción, para mezclar los lodos que se van enviando a los tanques con los que se hallan en digestión. Estos orificios van cubiertos por campanas fijas con cierre hidráulico, sobre las que se sitúan los pequeños motores de dichos aparatos.

La abertura central da paso a una campana gasómetro, de 200 m.³ de capacidad, para recoger los gases de digestión.

La temperatura de los lodos se mantendrá entre 24° en invierno y 30° en verano, para disminuir así el número de tanques necesarios, que habría que aumentar a 20 si la digestión se hiciera a la temperatura natural.

Esta digestión consiste, en esencia, en una fermentación anaerobia alcalina, producida por ciertos fermentos contenidos en los mismos lodos, produciendo simultáneamente varios efectos, entre ellos: Reducir la cantidad de agua, que se va separando, disminuyendo así el volumen de los lodos a un 45 por 100 del primitivo; convertir la materia orgánica en sustancias estables incapaces de entrar en putrefacción, destruyendo los gérmenes patógenos y produciendo un abundante desprendimiento de gases combustibles, con un 65 á 72 por 100 de metano, y hacer que los lodos ya digeridos se puedan desecar fácilmente al aire libre, sin olores molestos y sin pululación de moscas.

La duración de la digestión será de un mes, y el volumen diario de gases que se producirá será

de unos 25 000 m.³ en la actual etapa y 55 000 metros cúbicos en el futuro.

Tanto la estructura como la maquinaria de remoción y calefacción de estos tanques presentan características originales interesantes, e irán acoplados de forma que puedan ser utilizados para digestión en una etapa, o bien para diversas combinaciones de digestión en dos etapas. Cada grupo de tanques lleva una copa central de distribución de entrada y salida de lodos.

1) *Campos de desecación.* — Los lodos digeridos serán distribuidos por gravedad sobre lechos de desecación de 36 000 m.² en la actualidad, y de unos 80 000 m.² en el futuro, divididos en fajas de 6 m. de anchura, sobre los que se extenderán en capas de 25 cm., y se extraerán, ya secos, cada dos semanas, por término medio. El volumen de lodos desecados que se obtendrá diariamente se calcula en unas 100 toneladas en la actual etapa, y 250 toneladas en la futura.

II) *Casa de máquinas.* — Para el funcionamiento de la estación — especialmente para la compresión del aire destinado a los tanques de lodos activos, los mecanismos de agitación de estos tanques y las bombas de elevación — se requiere un consumo elevado de energía, evaluado, en total, en 1 000 HP. continuos para la actual etapa, y 2 650 HP., con un "peak-load" de unos 700 HP., en la futura. Para su producción se aprovecharán los gases producidos por la digestión de lodos.

Como cada HP. hora requiere de 450 a 500 litros de gas, no sólo habrá producción suficiente, sino que sobrarán, seguramente, unos 10 000 a 14 000 m.³ de gas al día.

Para la producción de esa energía se instalarán ahora dos motores de gas, acoplados a alternadores

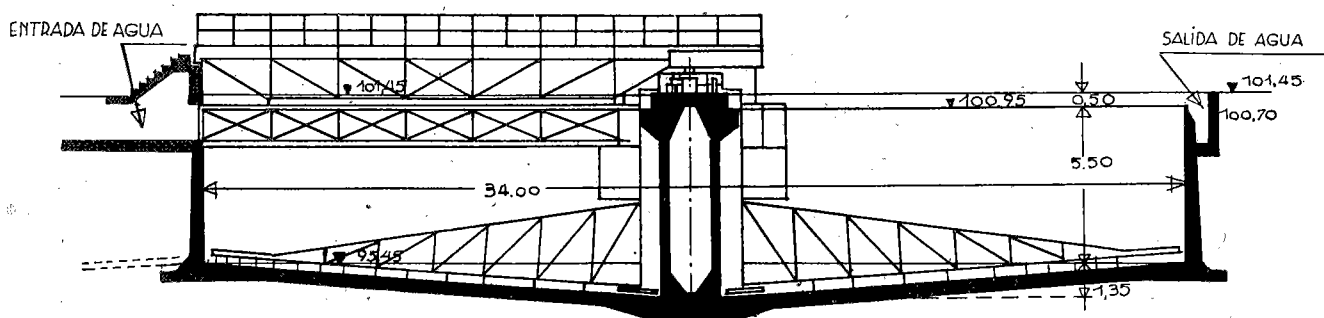


Figura 8.^a.

trifásicos de 680 y 320 K. V. A., respectivamente. En el futuro se instalarán otros tres motogeneradores de 680 K. V. A. cada uno.

Es bien sabido que el rendimiento de los motores de gas es pequeño, pues sólo se aprovecha un tercio, aproximadamente, del valor calorífico de éste, perdiéndose el resto en el agua de refrigeración y en

proyectado las redes de servicio de caminos, fuerza, alumbrado, aguas potables, aguas depuradas para riego, gases, lodos, de evacuación, etc.; los edificios de laboratorio, transformación, viviendas para obreros, casas para oficinas, mecánicos, etc.; las obras de jardinería y cierre, etc., etc., de cuyos detalles hacemos gracia al lector.

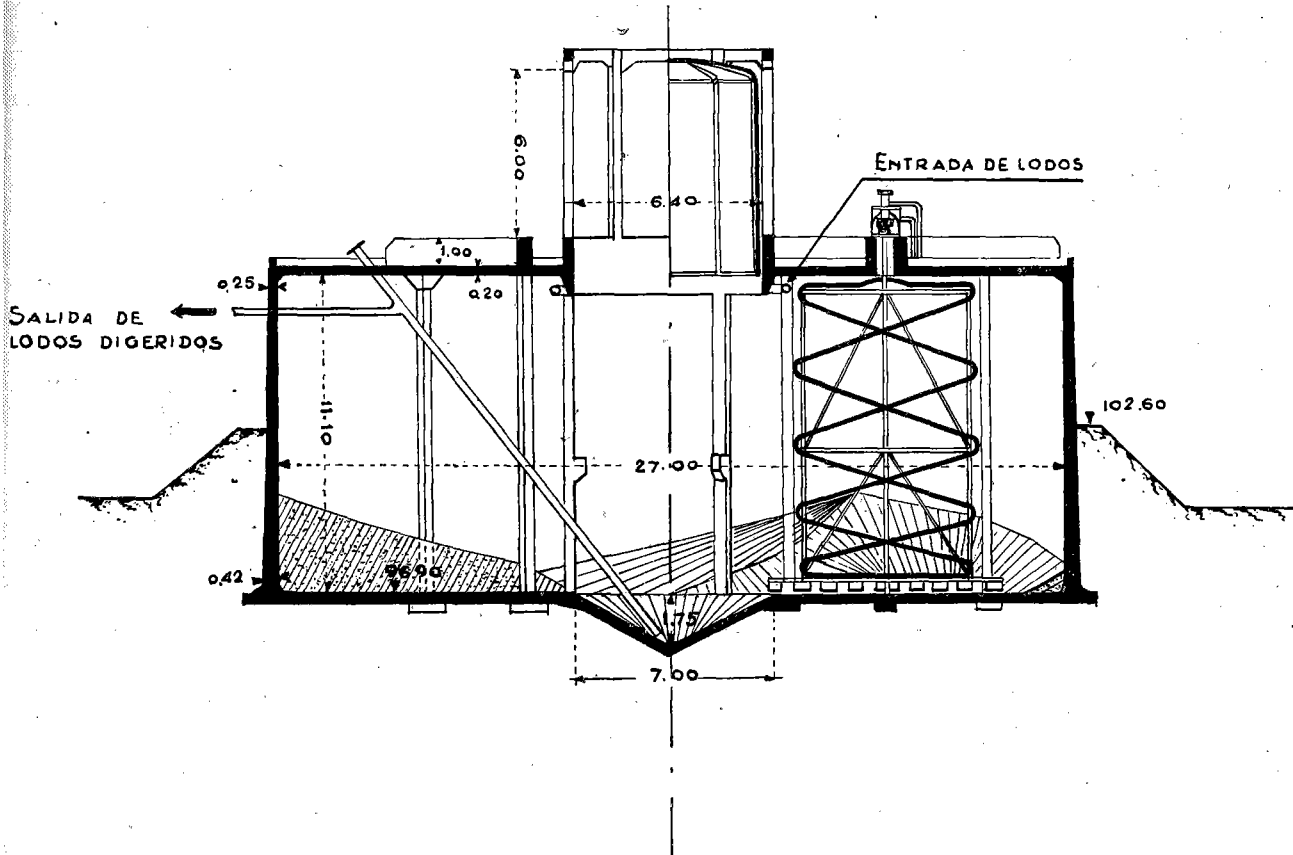


Figura 9.^a.

los gases de escape; pero en este caso, el aprovechamiento se lleva al máximo, puesto que el calor de dichos gases de escape y del agua de refrigeración se utilizará para el caldeo de los tanques de digestión, a fin de mantener entre 24° y 30° su temperatura, como ya hemos dicho.

Además de los motogeneradores, se albergarán en la casa de máquinas los turbocompresores de aire, que habrán de proporcionar unos 215 m.³ de aire por minuto, ahora, y unos 500 en el futuro, así como el cuadro general de enganche y distribución de energía eléctrica.

m) *Instalaciones complementarias.* — Como instalaciones auxiliares y complementarias se han

Presupuestos. — Los presupuestos totales, a los precios de 1935, fueron de 20 415 439,06 pesetas para la etapa actual, en construcción, y de pesetas 40 721 278,70 para la estación total futura, incluidos en ambos el emisario general y las expropiaciones e indemnizaciones. Resultaba un coste medio de 31,40 pesetas por habitante, bastante inferior a los de las modernas estaciones alemanas y americanas de importancia, y muy inferior a los de las inglesas. Los gastos de explotación los habíamos evaluado en 814 471 pesetas anuales (incluyendo la cloración) para la actual etapa, y 1 020 560 pesetas anuales para la estación total, cifras también inferiores a las de las grandes estaciones extranjeras.

IV. — ESTADO E INCIDENCIAS DE LAS OBRAS

En la actualidad están ya construídas todas las obras de fábrica correspondientes al aliviadero general, colector, rejilla, areneros, primera elevación, cámara de grasas, sedimentación previa, segunda elevación, sedimentación final, pozo de bombeo de lodos, caseta de transformación y laboratorio. También se encuentran terminadas las de dos tanques de digestión y dos grupos de cuatro viviendas para obreros. En curso de ejecución se encuentran el resto de los tanques de digestión y los tanques de aireación. Aun no se comenzó la construcción de los campos de desecación, la casa de máquinas y los demás edificios complementarios. Gran parte de las obras terminadas se han ejecutado después del Movimiento Nacional, habiéndose reparado también los destrozos causados en las obras en la época roja. Estos destrozos, juntamente con la maquinaria sustraída o deteriorada, se valoraron en cerca de un millón de pesetas.

Para la ejecución de las obras seguimos un criterio ecléctico, buscando para cada caso, o para cada unidad, el sistema de ejecución más adecuado y económico. Así, para los pocillos centrales de los tanques de sedimentación previa utilizamos tablestacas metálicas; el pozo general de recogida y bombeo de lodos, de 11×7 m.², en planta, y 8,20 m. de altura total, fué construído sobre el terreno e hincado, a la manera de un pozo indio, sin contratiempo alguno. Para la protección de los tanques contra el ataque del yeso disuelto en las aguas del subsuelo de la estación, utilizamos — creemos que por primera vez — un sistema consistente en preparar una base formada por carbonilla apisonada, en capa del espesor conveniente en cada caso, para la estabilidad de la unidad que habría de soportar, y, una vez construída sobre aquélla la solera del tanque, se inyectaba con emulsión de arcilla, obteniéndose así una protección resistente e impermeable. De esta forma fué posible construir las grandes y complicadas estructuras de los tanques de digestión, con 11,85 m. de carga de lodos, sobre el fango con que estaba relleno el antiguo canal del Manzanares, de gran anchura y profundidad. En este caso, el espesor de la capa de carbonilla inyectada se elevó hasta 1,30 m., como resultado de los cálculos correspondientes.

Respecto a la maquinaria, está colocada casi toda la de la depuración previa, desde la rejilla a

la segunda elevación, y la de un tanque de sedimentación final. En obra está ya acopiada parte de la de los tanques de digestión. Toda ella fué fabricada en España, como también lo está siendo la restante, a excepción de los motores de gas y los turbocompresores. Se están haciendo ensayos para fabricar también aquí las placas porosas para inyección de aire en los tanques de lodos activos.

Como incidencia en las obras, citaremos el peligro en que estuvieron, en enero de 1940, de que el río Manzanares se "tragara" gran parte del terreno y alcanzase a algunos de los tanques construídos. Inmediatamente después de pasada la riada, se construyó una defensa de espigones, formados por gaviones metálicos, para evitar que, en crecidas posteriores, aumentara el peligro. La defensa funcionó perfectamente, y gran parte de los espacios entre espigones está ya rellena por los acarreos.

V. — ANTEPROYECTOS PARA EL FUTURO Y NECESIDAD DE LA AYUDA ESTATAL

El Ayuntamiento está estudiando la fórmula económica para resolver el conflicto que resulta de la divergencia de precios entre 1935 y la actualidad. Resuelto éste, seguramente dentro de muy poco, se activarán las obras lo más posible para que la estación depuradora pueda entrar en funcionamiento cuanto antes. Y una vez que esto se logre, será ocasión de buscar una revalorización de los subproductos obtenidos en la estación.

Estos subproductos son: arenas lavadas, gases de digestión, lodos desecados y aguas depuradas. Las arenas se emplearán para reponer las de los campos de desecación de lodos en la misma estación. Los gases sobrantes se podrán vender, en tiempos normales, a la fábrica de gas. Los lodos desecados (conteniendo todavía un 55 por 100 de agua) tienen un valor teórico para abono — partiendo del de la materia orgánica, nitrógeno y anhídrido fosfórico que contienen —, de unas 10 a 15 pesetas tonelada, valor que no resiste un transporte algo largo. Podría aumentarse aquél, disminuyendo más su volumen por desecación artificial y vendiéndoles pulverizados después de mezclarlos, o no, con otros fertilizantes apropiados para cada caso. De todas formas, los lodos digeridos constituyen un magnífico humus que puede mejorar muchísimo los terrenos pobres y excesivamente arenosos de los alrededores de Madrid. Pero las cantidades de lodos secos que se producirán serán muy grandes, y para su

revalorización y empleo es esencial la creación de una zona de consumo en las cercanías de la estación depuradora.

El Ayuntamiento tiene aprobado, en principio, el nuevo anteproyecto que redactamos en 1939, con la colaboración del Ingeniero Agrónomo don Francisco Domínguez, para la creación de esa zona de consumo, mediante la conversión, en regadío, de 2 000 Ha. de secano en la margen derecha del Manzanares, entre Villaverde Bajo y La Marañosa. Estas huertas serán regadas con aguas depuradas, y su extensión se limitará a 550 Ha., hasta que esté construída la totalidad de la estación.

La idea básica de este anteproyecto es la formación de lotes familiares de hectárea y media, dedicados en una tercera parte al cultivo de alfalfa, para la alimentación de vacas lecheras, y en las dos restantes a la producción de hortalizas. El producto de cada lote será bastante para el sostenimiento de una familia, y para su adquisición, en veinticinco a treinta años, en forma de patrimonio familiar inenajenable.

La riqueza creada de esta forma es de gran magnitud, pues basta considerar que las 1 300 familias asentadas en las 2 000 Ha. producirán más de 15 millones de pesetas de leche y hortalizas al año. La plusvalía de los terrenos regados y la de los solares de los dos o tres nuevos poblados que se crearán, alcanza a cantidades comparables con el coste total de la estación depuradora. Esos nuevos poblados, con todos los servicios necesarios, se construirán con la cooperación de los organismos estatales correspondientes.

Lo expuesto hasta aquí, nos muestra que la aportación del Ayuntamiento de Madrid para la mejora de las condiciones del río Manzanares es de una gran importancia. Pudiera haberse planteado

la cuestión de que, siendo el Estado (Canal de Isabel II) quien explota el abastecimiento de aguas a la capital, fuera él quien estuviera obligado a la depuración de esas mismas aguas después de utilizadas por la población. Pero el Municipio, al acometer por sí mismo la construcción de la estación depuradora, dejó de lado, generosamente, toda discusión. Ahora bien: para lograr un acondicionamiento total del río Manzanares, es necesaria una cooperación del Estado, especialmente, tomando a su cargo las tareas siguientes:

1.^a Facilitar la pronta terminación de las obras en ejecución, mediante las correspondientes declaraciones de urgencia.

2.^a Contribuir, si es caso, en su día, para completar la estación total, visto ya el buen resultado y el rendimiento de la parte que ahora se construye, una vez que funcione.

3.^a Regularizar el caudal del Manzanares y mejorar la actual canalización.

4.^a Prolongar la canalización del río desde el barrio de la China hasta Villaverde Bajo.

5.^a Hacer posible la realización del anteproyecto de nuevos regadíos por medio de las disposiciones legales adecuadas; y

6.^a Proteger la pureza del río en su tramo alto, anterior a Madrid, prohibiendo todo vertido de aguas residuales, sin depurar, a él.

Algunas de estas tareas ya han sido iniciadas y otras se encuentran en proyecto. Esperamos, pues, que dentro de pocos años, con la cooperación de todos, el Manzanares alcance la categoría que merece como río de la capital de España.

