

ESTACION CLARIFICADORA DEL AGUA DE ABASTECIMIENTO DE SALAMANCA

Por ALFREDO SANTOS MARTIN,
Ingeniero de Caminos y Municipal de Salamanca
y PABLO BARRON AGUSQUIZA,
Ingeniero Industrial. Profesor de la Escuela de
Ingenieros Industriales de Bilbao.

Presentan los autores una completa descripción de la importante instalación clarificadora de agua de Salamanca, que, tanto por su capacidad, cuanto por los modernos procedimientos que en ella se emplean, constituye un gran perfeccionamiento de aquel abastecimiento de agua.

I. - Antecedentes.

El abastecimiento de agua de la ciudad de Salamanca puede decirse que se inicia en el año 1914, en el cual contrata el excelentísimo Ayuntamiento, con la Sociedad Española de Aguas y Saneamiento, la construcción y explotación por esta Sociedad de la primera red de distribución general por todas las zonas urbanizadas y de futura urbanización, junto con una red de alcantarillado de igual extensión.

Poco antes de este período, y como consecuencia de gestiones preliminares a dicho contrato, se construyó el actual depósito elevado de hormigón armado, de 7 000 m.³ de capacidad, y se modificó la central elevadora del río Tormes, instalando un grupo elevador de 54 CV., en sustitución de las antiguas máquinas de vapor que existían en dicha central, las cuales quedaron como reserva.

Por la Sociedad Española de Aguas y Saneamiento se realizaron las obras de tendido de tuberías, con arreglo a los proyectos previamente aprobados, y se puso en servicio el nuevo depósito en 1917, elevando considerablemente la presión en toda la red, que entonces no tenía más que la transmitida por un antiguo depósito subterráneo, al cual elevaba el agua la primitiva central del río, situada en el llamado Camino Ancho de la Aldehuela.

En 1922, y como consecuencia de las diferencias surgidas entre la Corporación municipal y la Empresa constructora y explotadora del servicio de aguas, pasaron todas las instalaciones y explotaciones del servicio a depender del Ayuntamiento.

Posteriormente, en años sucesivos, fueron realizándose ampliaciones del servicio de aguas, pero sin plan de conjunto, aisladamente, conforme lo demandaban las circunstancias, ya que se carecía de un proyecto de suficiente amplitud que pudiera prever las necesidades de la ciudad en el futuro. Consecuencia de ello era que todas las instalaciones resultaban insuficientes al poco tiempo, no pudiendo seguir con

las construcciones el ritmo de crecimiento de la ciudad.

Al producirse el Glorioso Movimiento Nacional, considerando el Ayuntamiento que era indispensable resolver definitivamente este problema, el más urgente que tenía la ciudad, encomendó al Ingeniero D. José Paz Maroto la redacción de un proyecto completo, en el que, con toda amplitud, se estudiara y resolviera este problema.

El Sr. Paz Maroto redactó una serie de proyectos que, con el título general de "Saneamiento Integral", comprendían ampliaciones y mejoras en la elevación, nuevo depósito regulador de 40 000 m.³ y superdepósito, reforma de las redes de distribución y considerables ampliaciones de las mismas, así como redes de alcantarillado, colectores, emisario general, etc.; todo ello a base de la futura población de Salamanca en veinticinco años, que se había fijado en 110 000 habitantes, y una dotación de 250 litros por habitante y día.

De este plan de Saneamiento Integral, se han realizado dos etapas, al amparo de dos presupuestos extraordinarios: la primera, en los años de 1940 a 1945, en la cual se ejecutaron obras consideradas como más urgentes en aquellos momentos, y la segunda, de 1948 a 1954.

En esta segunda etapa se completa la labor ya iniciada, recogiendo no sólo determinadas obras comprendidas en el Plan de Saneamiento Integral, sino también algunas otras no incluidas en el mismo, pero que se consideraban urgentes e indispensables, entre ellas una nueva ampliación de la Central Elevadora del río y la Estación Clarificadora y Depuradora del agua de abastecimiento.

La Central Elevadora del río ha quedado constituida por cuatro grupos de 350 CV., acoplados en paralelo a dos tuberías de impulsión de 500 y 400 milímetros, respectivamente, con una capacidad de elevación normal de 350 l./seg. y una reserva de 200.

La Estación Clarificadora ha sido proyectada para

un caudal continuo de 400 l./seg. y prevista su ampliación hasta los 600.

Por último, regulado el río Tormes por el pantano de Santa Teresa, quedan garantizadas las necesidades de agua de la ciudad en todo momento y eliminados los largos estiajes, que tantas dificultades crearon en años anteriores.

En definitiva, hoy dispone Salamanca de un caudal de agua de magnífica calidad, capaz de abastecer una población de 115 000 habitantes, con una dotación de 300 litros por habitante y día, siendo la población actual de unos 90 000 habitantes y susceptible de fácil ampliación para abastecer una población superior a los 160 000 habitantes.

II. - Tratamiento a realizar en el agua.

Químicamente, el agua del río Tormes es magnífica. Su hidrometría es de 2º aproximadamente, y el pH varía de 6,6 a 7,0. No necesita corrección alguna de sus características químicas.

Físicamente, destaca su gran turbidez, que, en determinadas épocas del año, llega a alcanzar el valor de 8 000 p.p.m., medida en grados sílice.

No conteniendo el agua sales que precipiten en forma que den turbidez, ésta se debe a partículas en suspensión.

Estas partículas en suspensión son del tipo arcilla: parte, constituyendo un limo fino, de tamaño 0,001 mm., y parte, de menor tamaño y en suspensión coloidal, imposible de eliminar por sedimentación.

El tratamiento a realizar en el agua ha de ser la eliminación de la turbidez y posterior tratamiento bacteriológico del agua clarificada.

III. - Descripción de la instalación.

La adjudicación de la instalación se realizó mediante concurso, tomando como base el proyecto municipal, permitiendo a los concursantes presentar modificaciones al mismo y también sus propios sistemas y procedimientos de clarificación y depuración.

Con el sistema adoptado, que recoge todos los perfeccionamientos de la técnica de depuración de aguas potables, se redactó el proyecto definitivo de construcción e instalación, en colaboración con el Ingeniero municipal y la casa adjudicataria.

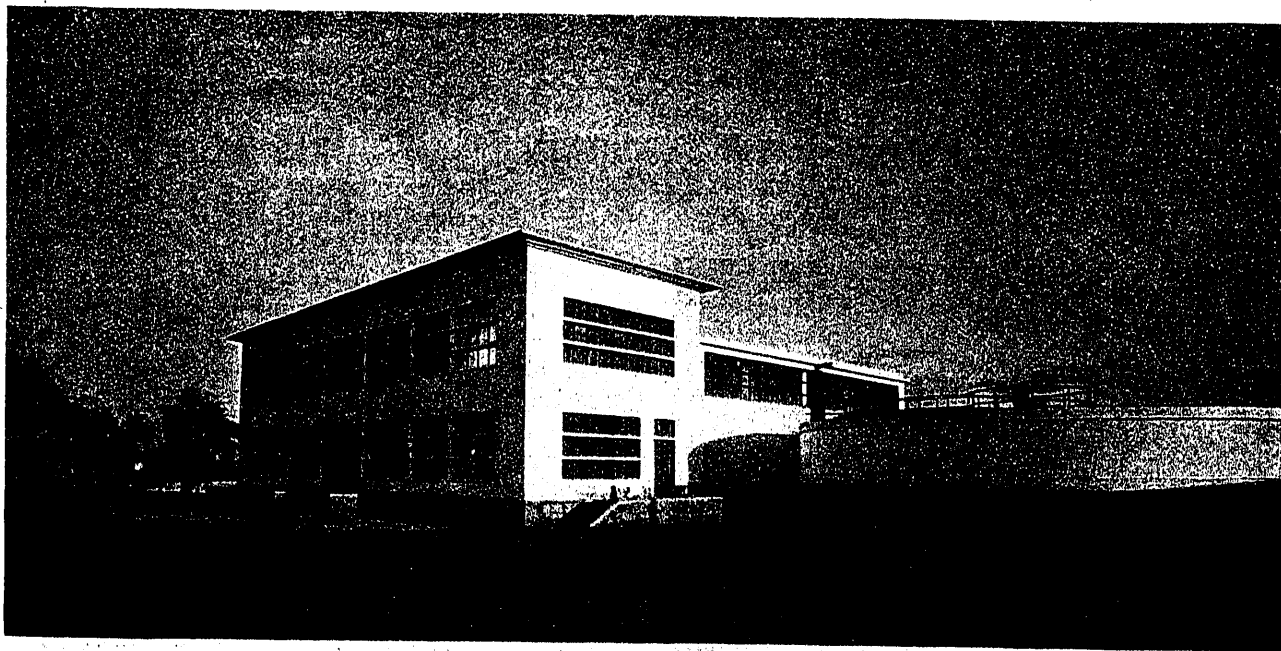
La instalación se compone de los siguientes elementos:

a) *Captación.* — Se efectúa en un edificio construido en la ribera del río, en el que se alojan las bombas de captación de agua bruta que debe ser impulsada a los decantadores.

En este edificio se han instalado dos bombas de las siguientes características:

Caudal	24 000 l./m.
Altura manométrica	17 m.

En el mismo edificio se encuentra la central de transformación, que proporciona la energía necesaria para el accionamiento de las bombas, central que se



Vista general de la instalación.

compone de todos los accesorios normales en una instalación de este tipo. La tensión de alta de la instalación es de 13 200 V.; en baja, de 220/133 V., y la potencia del transformador de 125 KVA.

b) *Distribución.* — El agua bruta impulsada por las bombas anteriores llega a la torre de distribución, la cual lleva en su interior un conducto de llegada de agua bruta y tres vertederos en la parte superior exactamente iguales, por los que se vierte el agua a cada uno de los decantadores de que consta la instalación.

Como actualmente sólo existen dos de estos decantadores, previendo la ampliación de la instalación con otro decantador más, una de las salidas de agua bruta está cerrada.

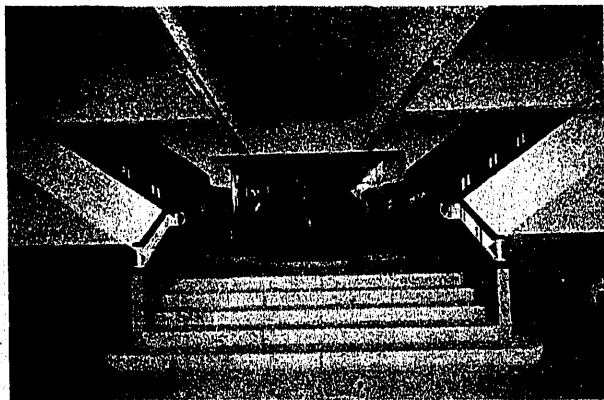
c) *Decantación.* — La instalación consta en la actualidad de dos decantadores "Accelerator", cuyas características principales son las siguientes:

Diámetro	17,70 m.
Altura total	5,26 m.
Caudal máximo	1 113 m. ³ /h.
Velocidad ascensional del agua para el caudal máximo	4,95 m./h.
Concentrador de fangos	4
Extracción automática de fangos.	

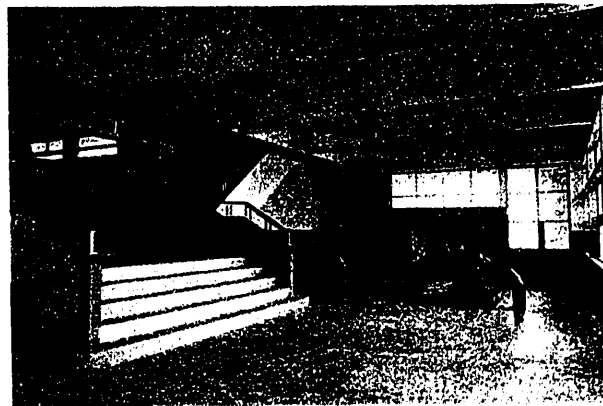
Estando prevista su ampliación con otro decantador análogo, como se ha dicho.

Las diferencias fundamentales entre este tipo de decantador acelerado y los antiguos decantadores estáticos utilizados hasta ahora, son:

- 1.^a Los reactivos para el tratamiento se agregan de una forma totalmente nueva.
- 2.^a Las reacciones se producen en condiciones diferentes.
- 3.^a Los fangos se eliminan automáticamente por un procedimiento nuevo y sin esfuerzo alguno.
- 4.^a Lleva a cabo en una sola unidad las distintas fases de mezcla, coagulación y sedimentación de las instalaciones clásicas.



Fuente y galería de filtros.



Grupos de lavados de filtros y cuadro general.

5.^a El espacio ocupado es mucho menor que el necesario en cualquiera de ellas, aun en las más perfectas, en la proporción de 1/4 a 1/6, según los casos.

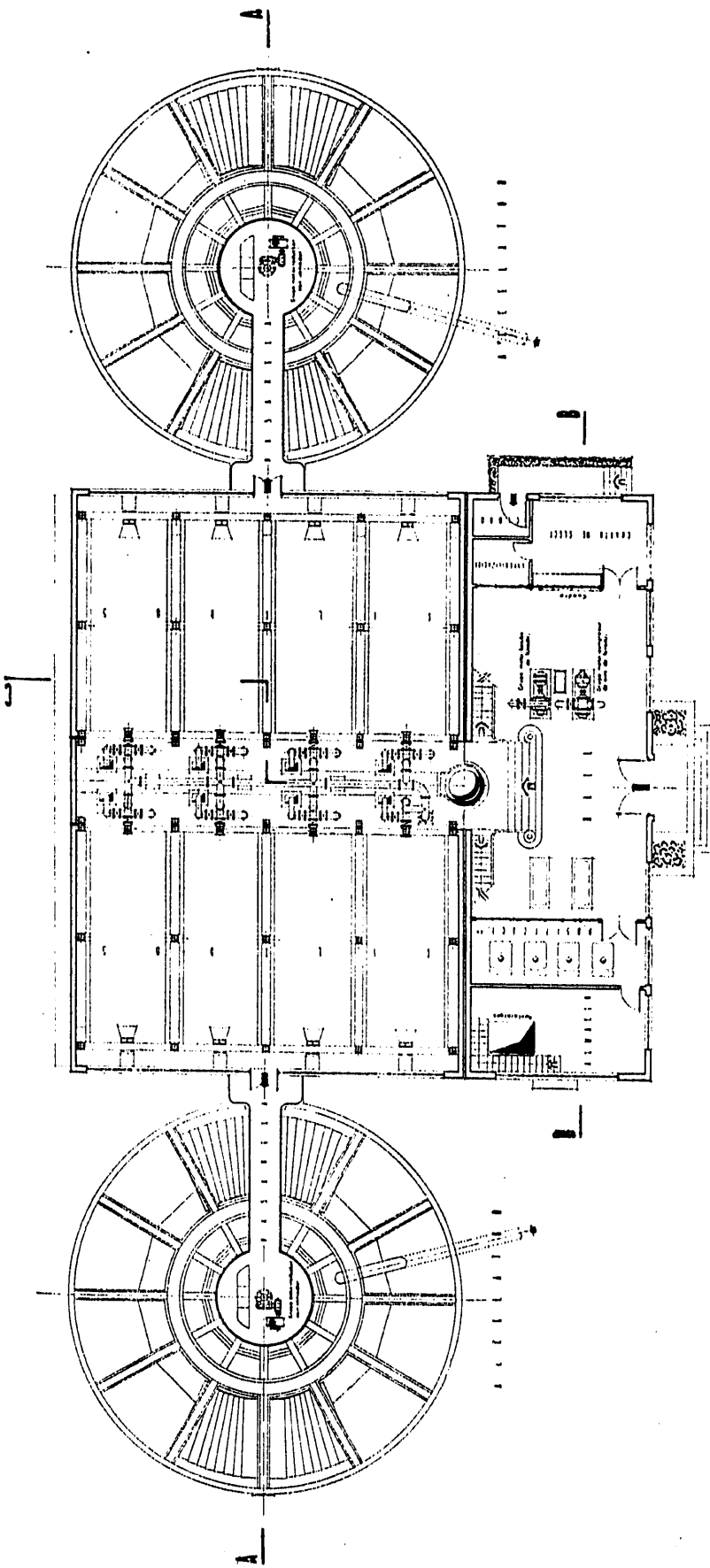
Se compone de una cuba cilíndro-cónica, de fondo plano, en cuyo interior se alojan:

- una tapa cónica que define, en la base del aparato, una zona de reacción primaria;
- una chimenea central, situada en la parte superior del cono;
- una turbina accionada por un grupo moto-reductor, dotado de un variador de velocidad;
- una chimenea concéntrica con la primera, que delimita una zona de reacción secundaria, efectuándose la separación del agua y de los barros a la salida de esta chimenea;
- cuatro concentradores en los que se deposita el exceso de fangos;
- las tuberías y válvulas:
 - de conducción de agua bruta;
 - de inyección de reactivos;
 - de desagüe general;
- un dispositivo colector de agua decantada situado radialmente en la parte superior.

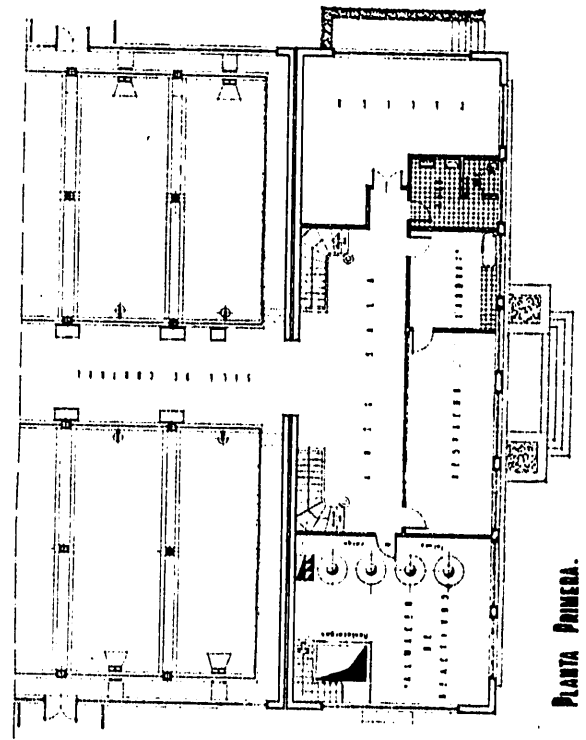
El agua bruta llega a la zona de reacción primaria, donde la turbina mantiene en suspensión los barros ya formados, de tal suerte, que los reactivos coagulantes añadidos en esta zona actúan en su presencia, es decir, en las mejores condiciones de eficacia.

La proporción entre el volumen de fangos y el del agua bruta, que se mezclan en la zona de reacción primaria, depende de la velocidad de rotación de la turbina. Esta velocidad se regula hasta que alcanza las condiciones más favorables para una floculación rápida y estable.

La mezcla de agua y fangos pasa de la zona de reacción primaria a la de reacción secundaria, donde, si hay necesidad, recibe una segunda adición de reactivo.



PLANTA GENERAL.



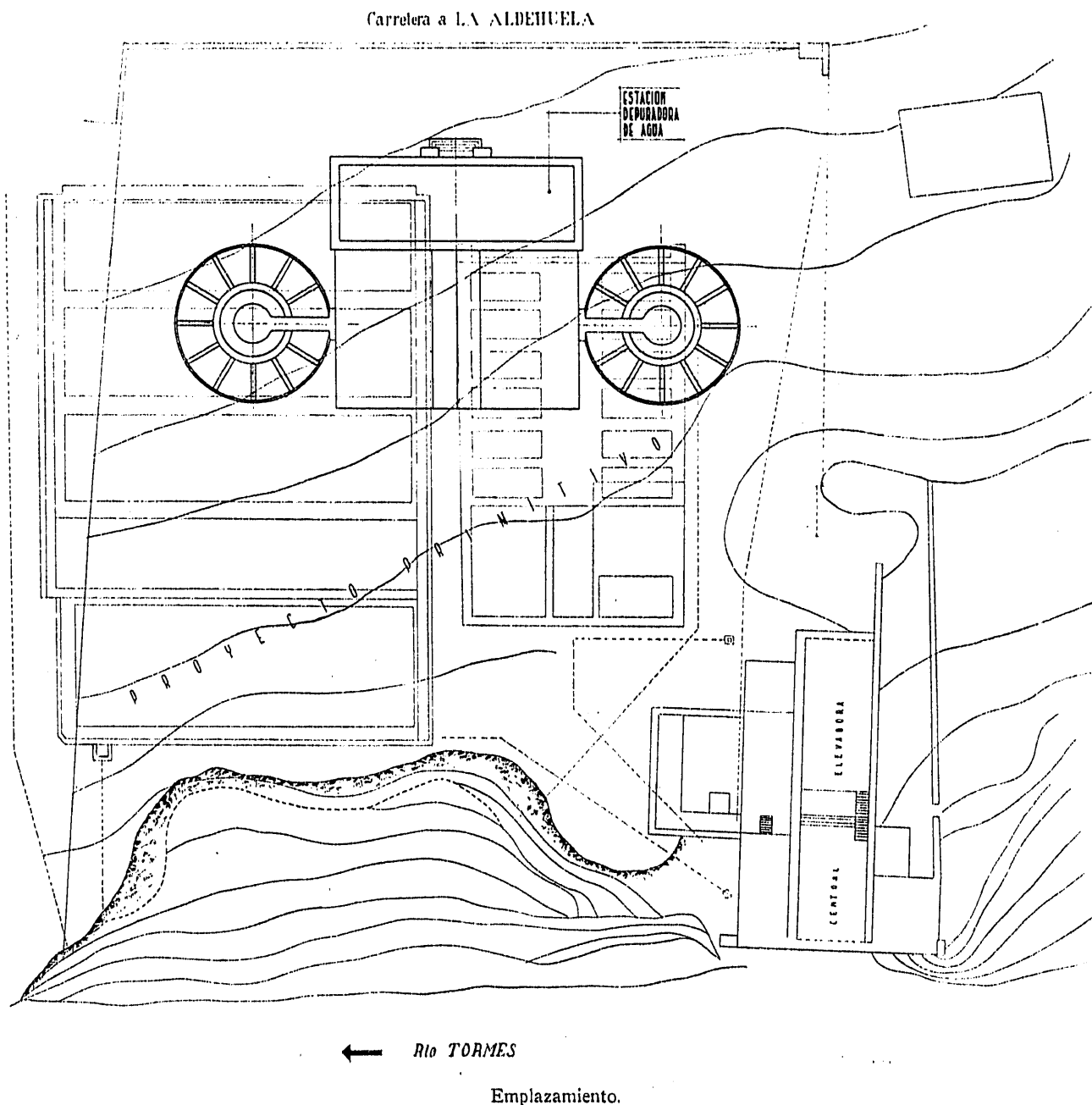
PLANTA PRIMERA.

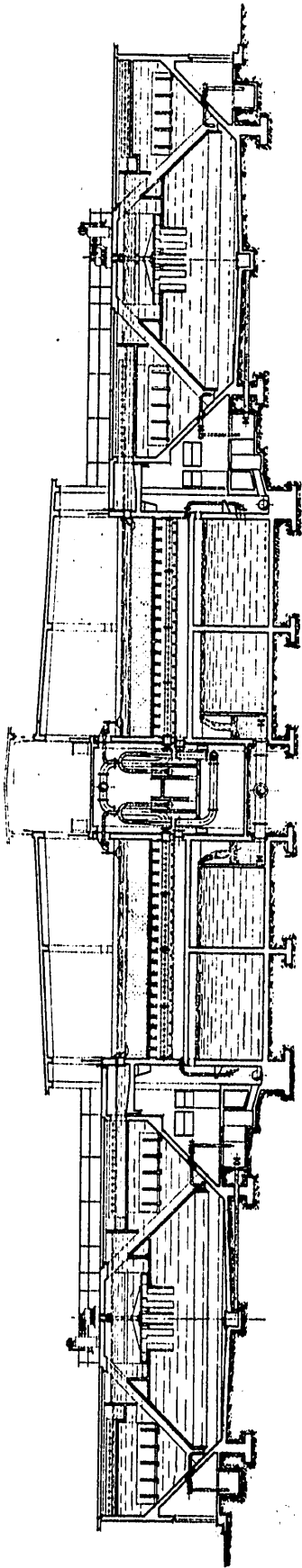
Las palas horizontales de la turbina desplazan suavemente la mezcla de agua y lodos a la zona de reacción secundaria. La mezcla recorre esta zona de reacción secundaria de abajo arriba y de arriba abajo. La agitación de la mezcla decrece progresivamente, hasta que es prácticamente nula en la parte superior.

El precipitado se forma en las condiciones más propicias para asegurar al mismo tiempo su estabilidad y una gran densidad que favorece la decanta-

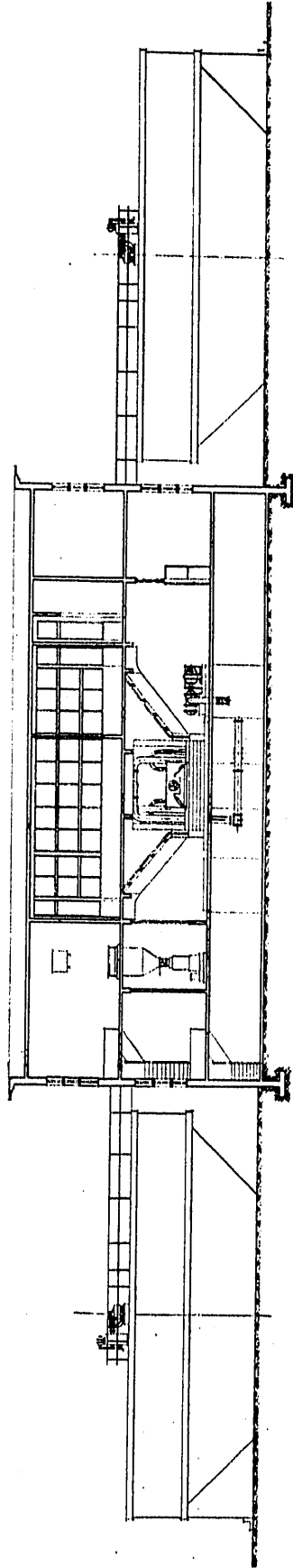
ción. El precipitado se separa del agua en la parte periférica. El agua clara sube a la parte superior, de donde es evacuada por los vertederos, al mismo tiempo que los fangos se dirigen hacia el fondo, impulsados por su inercia, pues penetran en la zona de decantación, dirigiéndose hacia la parte inferior del aparato.

d) *Filtración.*— La instalación consta de ocho filtros rápidos, abiertos, de las siguientes características:

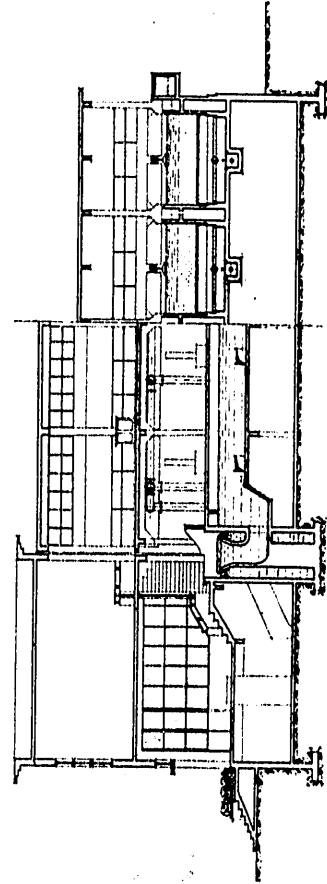




ALZADO - CORTE POR A-A.



ALZADO - CORTE POR B-B.



ALZADO - CORTE POR C-C.

Sección transversal.

Superficie filtrante de cada uno	10,06 x 3,60 m.
Altura de la capa de arena	90 cm.
Lámina de agua sobre la arena	20 cm.
Granulación homogénea comprendida entre	1 y 1,5 mm.
Colectores de plástico colocados sobre un falso fondo	55 por m. ²
Falso fondo de fibrocemento.	
Regulación automática y equirrepartición de caudal mediante el sistema de sifones "Neyrpic-Degrémont".	
Accionamiento automático de todas las operaciones de lavado.	
Lavado por agua y aire en contracorriente.	

La principal característica de estos filtros es que toda la arena es de igual granulación y, por tanto, no existe el temor de que se mezclen las distintas capas, como ocurre en los filtros clásicos.

Para soportar la arena lleva un fondo permeable formado por una capa de fibrocemento especial, provista de numerosas perforaciones roscadas, a las que se fijan unas piezas especiales de material plástico inatacable, o colectores. Estas piezas llevan finas hendiduras por las que pasa el agua, impidiendo la fuga de la arena. El piso permeable va soportado por vigas de hormigón, que dejan por debajo de las mismas espacio suficiente para colocar el colector y ramales de inyección de aire de lavado y un colector para salida del agua filtrada y entrada del agua de lavado.

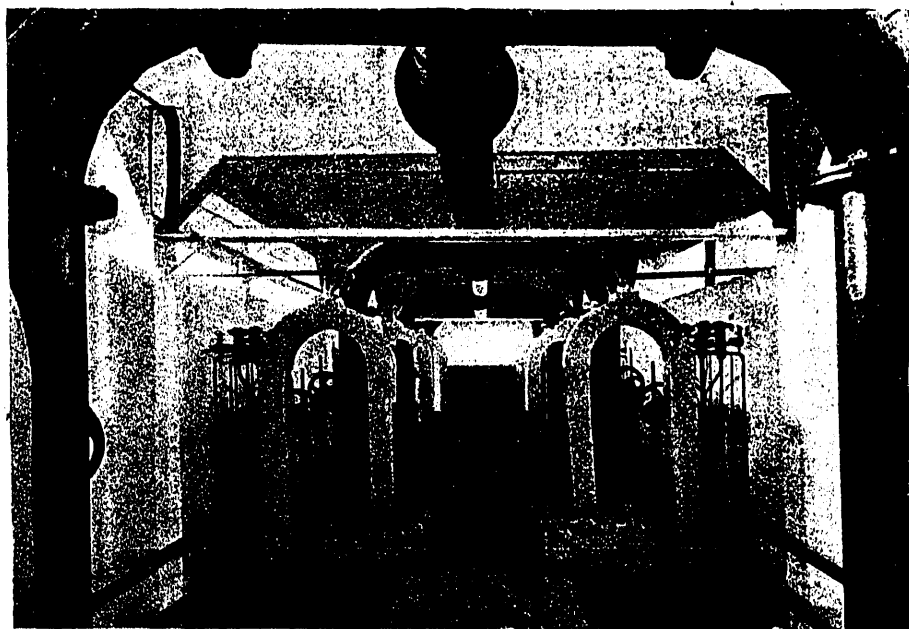


Compresor de aire y dosificadores de coagulantes.

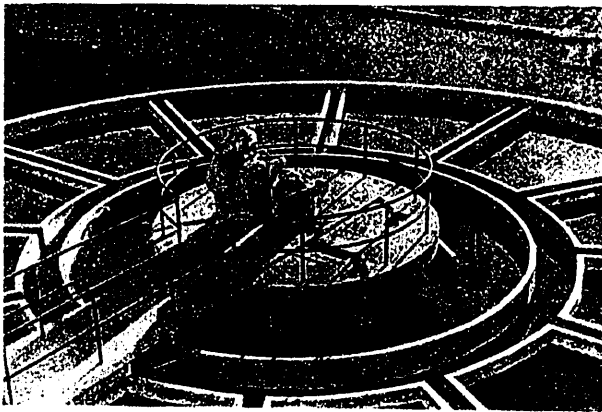
El lavado de estos filtros es diferente del de los filtros clásicos. Se efectúa en primer lugar una fuerte inyección de aire junto a un pequeño caudal de agua. Esta corriente de aire levanta por completo el lecho filtrante y lo remueve enérgicamente, provocando el choque de unos granos de arena con otros. De esta forma queda la arena limpia: pero la suciedad queda almacenada en su seno, por lo que se efectúa un segundo lavado, en el que se detiene la corriente de aire y se aumenta el caudal de agua de lavado.

Esta corriente de agua arrastra toda la suciedad desprendida en la operación anterior, dejando la arena completamente limpia.

Como la agitación de la arena se consigue mediante una inyección de aire a presión, no se produ-



Sifones reguladores de los filtros.



Vista superior de un Accelerator.

cen arrastres de aquélla en esta fase; en la segunda fase, el caudal de agua no es suficiente para levantar la arena, y sólo sirve para arrastrar la suciedad desprendida en la primera fase. No existe el temor a la formación de chimeneas, pues al detenerse la corriente de aire cae la arena, formando una superficie completamente horizontal.

Al iniciarse la filtración después del lavado, se obtiene, desde el primer momento, el caudal máximo del filtro, ya que, en lugar de filtrar a través de una película superficial formada lentamente, se filtra a través de toda la masa de la arena, y, además, en todo momento se obtiene agua perfectamente clara, no perdiéndose la obtenida mientras se forma la capa filtrante, como ocurre con el tipo clásico de filtros, por haberse lavado perfectamente todo el lecho de arena, y no siendo tampoco precisa la inyección secundaria de coagulante.

La evacuación de agua de lavado se hace, tal y como se ve en las figuras, por desbordamiento de la cuba sobre canales longitudinales que están en comunicación con los desagües. Este sistema elimina la válvula de evacuación de agua de lavado, con lo que simplifica el funcionamiento.

La entrada de agua decantada se hace a través de una válvula de retención especial, de aluminio, que cierra automáticamente el paso de agua decantada al subir el nivel del agua en el filtro en el momento de lavaje.

De esta forma, la maniobra del filtro se reduce al manejo de tres válvulas solamente:

- Salida de agua filtrada.
- Entrada de agua de lavado.
- Entrada de aire de lavado.

El agua de lavado se toma del depósito situado debajo de la sala de control y se inyecta en el filtro por medio de una bomba, cuyas características son:

Caudal	250 l./seg.
Altura manométrica	10 m.

El aire de lavado se inyecta por medio de un compresor tipo "Root", cuyas características son:

Caudal	2 100 m. ³ /h.
Presión de trabajo	3 m.C.A.

La maniobra se efectúa por mandos a distancia, desde la galería de filtros.

e) *Regulación del caudal.* — Los filtros de tipo rápido deben ir provistos, necesariamente, de aparatos de regulación, cuyo fin principal es asegurar la constancia del caudal del filtro, cualquiera que sea su estado de limpieza, y, además, en cierto modo, limitar el caudal de forma que se mantenga una velocidad de filtración conveniente. En resumen, el sistema de regulación debe comprender un dispositivo que permita mantener constantes los niveles a través del conjunto de la instalación.

En efecto, es esencial que un filtro funcione a un caudal sensiblemente constante. Si no se ha previsto ninguna regulación, la mayor parte del caudal de agua pasará a través de los filtros más limpios de la batería, con detrimento de la calidad de la filtración, produciéndose el atascamiento de los mismos, con el riesgo de no disponer del agua necesaria para su lavado.

Por otra parte, los niveles deben mantenerse constantes, ya que es por completo perjudicial para la calidad de la filtración descubrir accidentalmente el lecho filtrante.

Para la resolución del problema así planteado, se han propuesto diferentes soluciones y, actualmente, el sistema corrientemente empleado es el de la regulación por venturi y válvulas hidráulicas. Sin embargo, en esta instalación se ha adoptado un sistema totalmente diferente.

El regulador en cuestión está basado en el sifón "Neyrpic-Degrémont".

El caudal en el sifón "Neyrpic-Degrémont" es regulado, dejando entrar en su punto alto una cantidad de aire variable por medio de una caja de par-



Galería de mandos de los filtros.

cialización, la cual, a su vez, es mandada por un flotador.

f) *Dispositivo de lavado automático de los filtros.* Las válvulas de cada filtro, en número de tres, son las siguientes:

- una válvula de salida de agua filtrada;
- una válvula de entrada de agua de lavado;
- una válvula de entrada de aire de lavado;
- hay una cuarta válvula, de vaciado, pero no interviene en la operación de lavado.

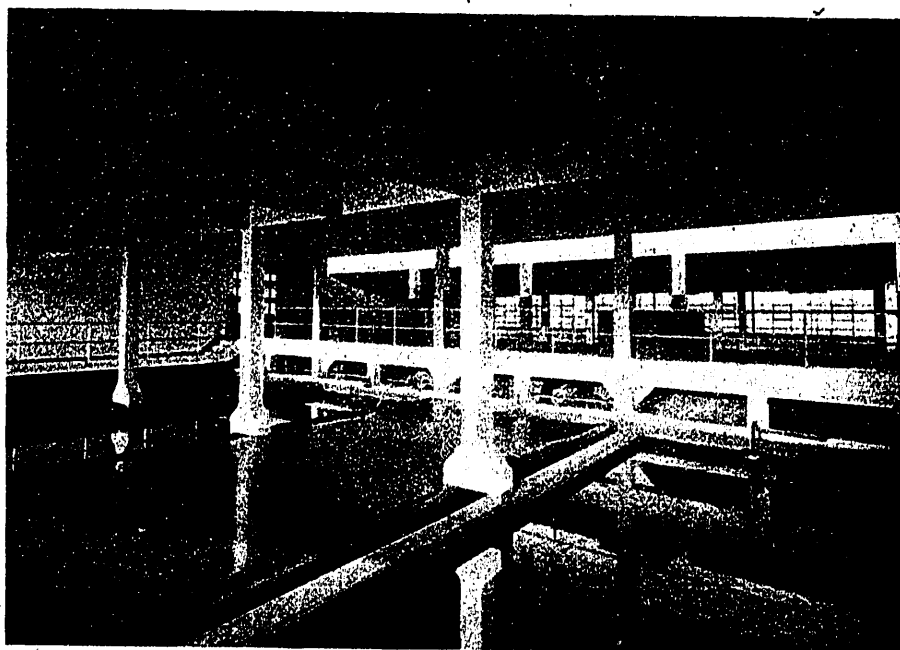
Durante el lavado, el personal encargado de la instalación debe maniobrar las tres válvulas principales citadas y proceder a la puesta en marcha y parada de la bomba y del compresor. Estas operaciones no presentan dificultad alguna, pero exigen un mínimo de atención por parte del personal, que debe controlar, además, la duración de las operaciones de insuflado de aire y de agitación.

Tiene gran importancia esto, ya que, si el filtro no se lava suficientemente, disminuirá su período de funcionamiento entre dos lavados consecutivos, mientras que un lavado excesivo no reportará ventaja alguna. En ambos casos, el resultado será una pérdida de energía. La experiencia demuestra que es bastante difícil imponer una disciplina a los operarios, que, unas veces por negligencia y otras por exceso de celo, no se atienen a las normas indicadas por los técnicos. Puede suceder también que se distraigan los operarios durante el curso de un lavado,

prolongando innecesariamente la operación. Por estas razones, y en el deseo de facilitar todo lo posible las operaciones que implican el cuidado de la instalación, se ha previsto en ésta un sistema de lavado automático de los filtros.

Para realizar este automatismo se han proyectado las tres válvulas con que va equipado cada filtro, de forma que puedan accionarse hidráulicamente. Para ello se coloca sobre las válvulas un cilindro en el que se desplaza un pistón unido al vástago de la válvula. Una válvula de cuádruple efecto permite que actúe la presión motriz (agua a presión) sobre una cara del pistón y que simultáneamente se vacíe la cara opuesta, o inversamente. Esta válvula se acciona por un electro-válvula piloto con mando eléctrico. Un combinador central, común a toda la batería, constituye el servo-motor del sistema. Este aparato se compone de un cierto número de pares de levas, que abren o cierran sucesivamente un contacto. La posición de estas levas es variable y regulable a voluntad. El eje común sobre el que van montadas las levas se mueve por un motor de velocidad constante y cada revolución representa la duración del ciclo de lavado. Mediante las levas se regula, por tanto, a voluntad, la apertura y cierre de las válvulas de los filtros y la puesta en marcha y parada de los motores de las bombas y compresores. Una leva especial detiene el motor del combinador al final de la operación.

El problema de cambio del caudal del agua de lavado entre el período de insuflación de aire con poca cantidad de agua y el de lavado final de la masa



Lavado de un filtro.

de arena a gran caudal de agua, se resuelve de forma sencilla: sobre el colector de impulsión de la bomba de agua de lavado se coloca un *by-pass*. En una de las derivaciones del *by-pass* se encuentra una válvula con mando hidráulico, idéntica a las de los filtros. Esta válvula permanece cerrada durante el período de insuflación de aire. Sobre la otra rama del *by-pass* se intercala una válvula de compuerta, cuya abertura se regula, de una vez para siempre, que permite el paso de un caudal reducido.

Cuando ha terminado el período de agitación con aire, la válvula hidráulica del *by-pass* se abre y aumenta el caudal que pasa libremente por las dos ramas. La apertura y cierre de la válvula del *by-pass* se realiza por el combinador.

El equipo eléctrico de cada filtro comprende los contactores que, bajo el impulso de las levas del combinador, efectúan la maniobra de las válvulas. Otros contactores aseguran el enclavamiento del sistema, es decir, que cuando un filtro se encuentra en período de lavado, no puede efectuarse el lavado de un segundo filtro, que perturbaría al primero. En el momento en que termina el lavado, cesa el enclavamiento del sistema. Se dispone, además, para cada filtro, de dos botones pulsadores: uno para el comienzo del lavado y otro para ponerlo de nuevo en servicio. Unas señales luminosas indican el estado del filtro, funcionamiento normal o lavado.

Los equipos eléctricos de cada dos filtros se colocan en el interior de un pupitre común, que contiene los contactores y fusibles necesarios, y sobre cuya capa superior se encuentran los pulsadores, señales luminosas, placas indicadoras de atascamiento, etc.

Un armario, común a la batería, contiene el combinador con el equipo de arranque y protección del motor. Unas señales luminosas empotradas en este armario permiten conocer la marcha de la bomba, el compresor y el combinador.

El operador, desde la galería de filtros, conoce, por la lectura del indicador de atascamiento, cuándo debe lavarse un filtro. Para ello, oprime el pulsador correspondiente, y su papel se limita a vigilar si el lavado se efectúa bien y si la bomba del compresor funciona convenientemente. De esta forma, las operaciones de lavado se efectúan automáticamente y según el ritmo previamente establecido. Al final de la operación, el operador oprime el segundo pulsador y vuelve a poner el filtro, perfectamente lavado, en servicio, pudiendo comenzar la operación de lavado en otro filtro en el momento oportuno. Este dispositivo de lavado automático, realizado con material eléctrico construido especialmente para esta instala-

ción, está protegido de toda avería y sus gastos de conservación son prácticamente nulos.

g) *Dosificación de sulfato de alúmina y cal.* — El reactivo coagulante empleado en los decantadores es el sulfato de alúmina, combinado con cal, para corregir el pH del agua, colocándolo en zonas en las que la coagulación producida por sulfato de alúmina se efectúa en buenas condiciones.

Estos reactivos se dosifican en polvo. Encima del dosificador propiamente dicho está dispuesta la tolva de almacenamiento, con capacidad para el consumo de dos a tres días.

El dosificador consiste, en esencial, en un motor eléctrico que arrastra, por intermedio de un reductor de velocidad y un juego de bielas, una bandeja situada debajo de la tolva de almacenamiento. La bandeja es animada de un doble movimiento longitudinal y de balanceo, de manera que cada extremo de la misma describe una elipse. Un rastrillo central fijo impide al reactivo seguir este movimiento, de forma que, a cada oscilación, una cierta cantidad de polvo es arrastrada al exterior.

h) *Esterilización.* — La instalación consta de un equipo completo de esterilización, constituido por dosificadores de cloro gaseoso, dotados de contador del tipo manométrico, con los que se puede llegar a dosificar hasta 3 000 gr. de cloro por hora. Su funcionamiento es automático.

i) *Otros elementos de la instalación.* — Esta estación de tratamiento consta, además, de todos los servicios auxiliares propios de una instalación de importancia: central de transformación subterránea para el suministro de energía eléctrica a los motores de los decantadores y grupos motocompresor y motobomba de lavado; cuadro general de distribución, almacén de reactivos montacargas, un laboratorio de análisis físicos y químicos del agua, perfectamente dotado, taller de reparaciones, una fuente decorativa y demostrativa de la calidad del agua tratada, etc.

Conclusiones.

La instalación descrita está funcionando perfectamente desde mayo del pasado año 1954, habiendo eliminado turbias de una intensidad y duración realmente excepcionales.

Resuelto el problema de abastecimiento de agua en cantidad y calidad que durante tantos años ha constituido una pesadilla para Salamanca, será, probablemente, hoy día, una de las primeras ciudades de España en lo que a este servicio se refiere.