

Nuevo abastecimiento de agua a Barcelona

Por JUAN M.^o COMPTE GUINOVART
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Recursos hidráulicos de la región catalana

Hidrográficamente, la región catalana tiene dos vertientes, una, afluyente al mar a través de diversos cursos de agua de corta longitud (los más largos exceden poco de 100 Km.), y otra, afluyente al río Ebro, el más importante de la península Ibérica.

Nos referimos aquí a aquella parte de región catalana afluyente directamente al mar, llamada cuenca hidrográfica del Pirineo Oriental, con ríos y ramblas de régimen torrencial, pluviometría más bien bajas y fuertes coeficientes de evaporación.

En el centro del borde costero de esta región, se halla situada Barcelona, con una aglomeración urbana de más de dos millones de habitantes, constituyendo la zona industrial y comercial más importante de España, cuyas necesidades de agua inciden de forma determinante en la utilización de los recursos de toda la cuenca y probablemente habrán de hacerlo, antes de que transcurran muchos años, en la utilización de los de la vecina cuenca del Ebro.

Precipitaciones y aguas fluyentes en las cuencas del Pirineo Oriental.

CUENCAS PARCIALES	Superficie Km. ²	Precipitación anual media Hm. ³	Aportación anual media Hm. ³
Muga	853	572	180
Fluviá	1 123	957	210
Ter	3 010	2 643	630
Tordera	894	740	190
Besós	1 038	687	90
Llobregat	4 948	3 426	600
Foix	312	212	10
Cayá	424	227	40
Francolí	838	457	50
TOTAL	13.440	9 921	1 930

En el cuadro anterior se indican los volúmenes de precipitación media anual y las aportaciones medias anuales de los ríos y rieras correspondientes a las distintas partes de la cuenca.

La consideración de que la aportación anual media representa, para la población actual, un volumen de agua inferior a 600 m.³ por habitante y año, permite apreciar claramente que las aguas disponibles en las cuencas del Pirineo Oriental son limitadas y que, para asegurar el desarrollo de la región a largo plazo, será necesario acudir a recursos externos a ella, sea tomándolos en la cuenca del Ebro o en el mar, o bien generalizando la reutilización de aguas usadas.

La lucha contra el despilfarro de agua que tiene lugar en algunas de las actuales utilidades, la regulación de los ríos mediante embalses y la adecuada explotación de las reservas subterráneas, permiten, sin embargo, obtener, al menos en la parte norte de la región, incluida Barcelona, recursos utilizables suficientes para atender a un programa de desarrollo agrícola e industrial y, por consiguiente, demográfico, en un plazo de quince a veinte años.

Para la regulación de las aguas superficiales mediante embalses y utilización de los recursos así obtenidos, existe un plan general, establecido en 1957, que comprende la ejecución de los embalses de Boadella, en el río Muga; Esponellá, en el río Fluviá; Sau y Susqueda, en el río Ter; San Pons, Sorba y la Baells o Marlés, en el Llobregat; el de Vilavert en el Francolí, y el de Ciurana en la riera de este nombre, que actualmente es ya objeto de transvase a la de Riu-decanyes, al sur de Tarragona. Las obras de este plan, que están en parte realizadas, en parte de ejecución y en parte pendientes de comenzar, permitirán disponer de los volúmenes de agua siguientes:

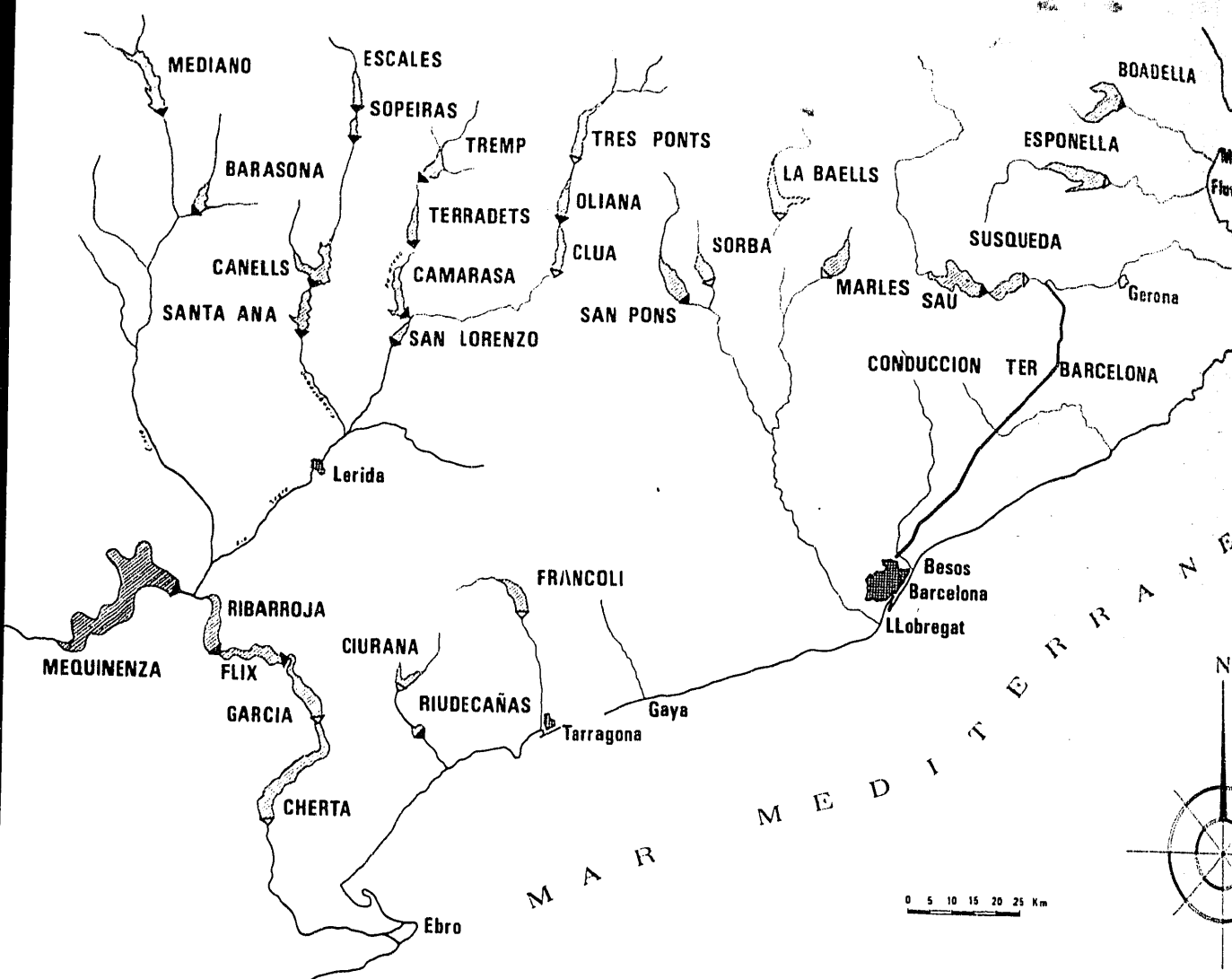


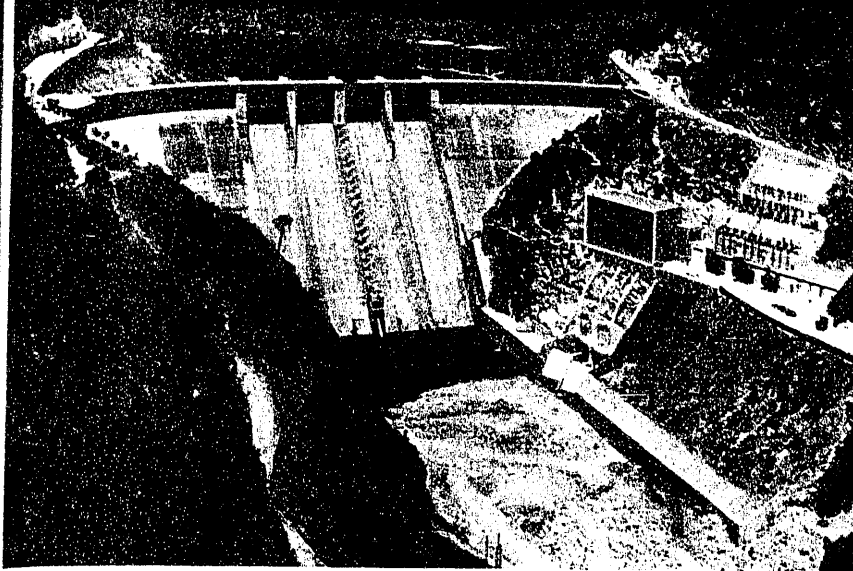
Fig. 1.^a—Plan de utilización de aguas superficiales en las cuencas del Pirineo Oriental.

Recursos de aguas superficiales disponibles mediante regulación en las cuencas del Pirineo Oriental.

R I O S	Aportación media anual — Hm. ³	Disponible en año medio — Hm. ³	Disponible en año seco — Hm. ³
Muga en Boadella	83	73	50
Fluviá en Esponella ...	155	131	90
Ter en Susqueda	550	457	411
Llobregat en Martorell.	550	286	273
Francolí	24	24	20
Riudecans-Ciurana	18	15	15
TOTALES	1 380	986	859

El plan comprende la utilización de caudales para el riego de 42 000 hectáreas en la provincia de Gerona, la conducción de 100 metros cúbicos/seg. de agua del Ter para abastecimiento de Barcelona y su zona de influencia, la garantía de un caudal de 5 m.³/seg. de agua superficial del Llobregat para abastecimiento de Barcelona, el riego de 6 500 hectáreas en el bajo Llobregat y de 12 000 hectáreas en el Vallés, el riego de 10 000 hectáreas en el campo de Tarragona y el abastecimiento de agua a esta capital.

Fig. 2.^a — Presa y embalse de Sau.



Aprovechamiento de las aguas del río Ter para uso múltiple.

Una de las partes más importantes del plan de 1957 lo constituye el aprovechamiento para uso múltiple de las aguas del Ter. Este río, en el punto denominado Pasteral, tiene un cau-

dal medio de $18 \text{ m}^3/\text{seg.}$, un caudal de estiaje de $3 \text{ m}^3/\text{seg.}$ y avenidas extraordinarias máximas de unos $2\,000 \text{ m}^3/\text{seg.}$ Entre Sau y el Pasteral, el Ter atraviesa una fuerte cadena montañosa salvando un desnivel de 250 m. Aguas abajo del Pasteral, el río entra en zona de valle y, después de bordear la ciudad de Gerona, pe-

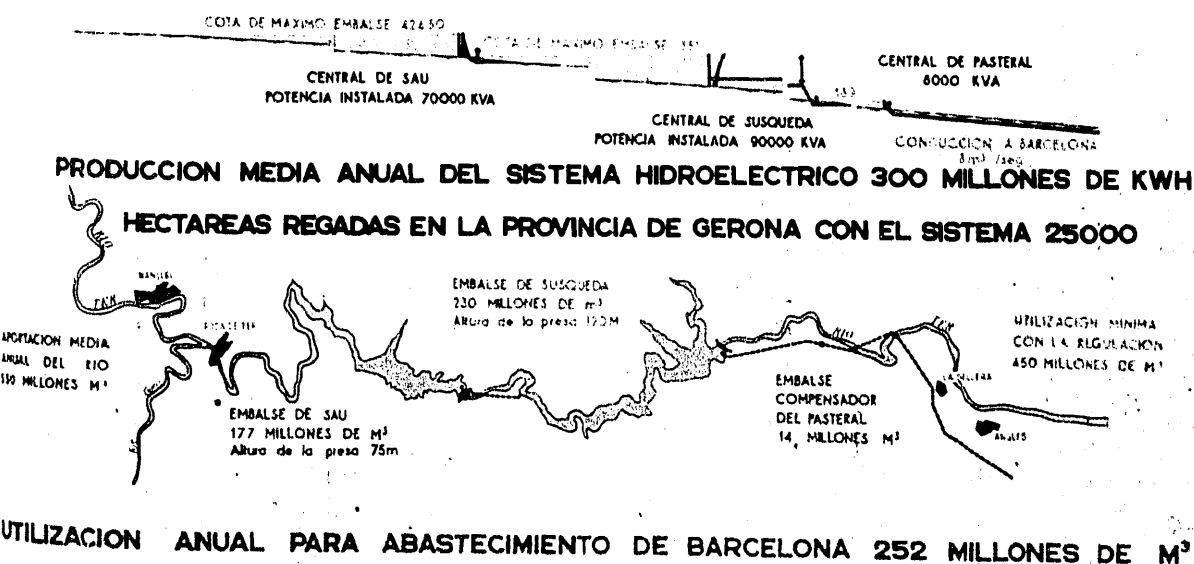


Fig. 3.^a — Esquema de la regulación y aprovechamiento del río Ter.

netra en el extenso Ampurdán hasta perderse en el mar. Desde el Pasteral, igual que ocurre en su curso alto, por encima de Sau, el Ter está canalizado para su utilización en pequeños saltos de agua que fueron la base del establecimiento de una rica industria. Al entrar en el Ampurdán, pierde importancia la utilización industrial de los canales, que se dedican principalmente al riego.

La fundamental mejora del aprovechamiento del Ter comprende el sistema de regulación y aprovechamiento hidroeléctrico, formado por los embalses y centrales de Sau, Susqueda y Pasteral, la conducción de aguas del Ter a Barcelona y la mejora y ampliación de regadíos en la provincia de Gerona.

La regulación del río se consigue mediante el embalse de Sau, de 177 millones de metros cúbicos de capacidad, constituido mediante una

presa de gravedad de 75 m. de altura útil, y el embalse de Susqueda, de 230 millones de metros cúbicos, con presa cúpula de 120 m. de altura útil. El primero se halla totalmente construido y el segundo en plena construcción.

El aprovechamiento hidroeléctrico del tramo del río se ha establecido mediante la central de pie de presa de Sau, subterránea y capaz de utilizar el salto comprendido entre el máximo embalse de Sau y un nivel veinte metros más bajo que el máximo embalse de Susqueda, la central de Susqueda, capaz para el salto entre el nivel máximo de Susqueda y el embalse del Pasteral; y embalse y central del Pasteral que, con una capacidad de un millón de metros cúbicos, permite dar al río aguas abajo caudales continuos con una explotación de Susqueda en régimen de puntas diarias.

La central de Sau tiene instalados 70 000

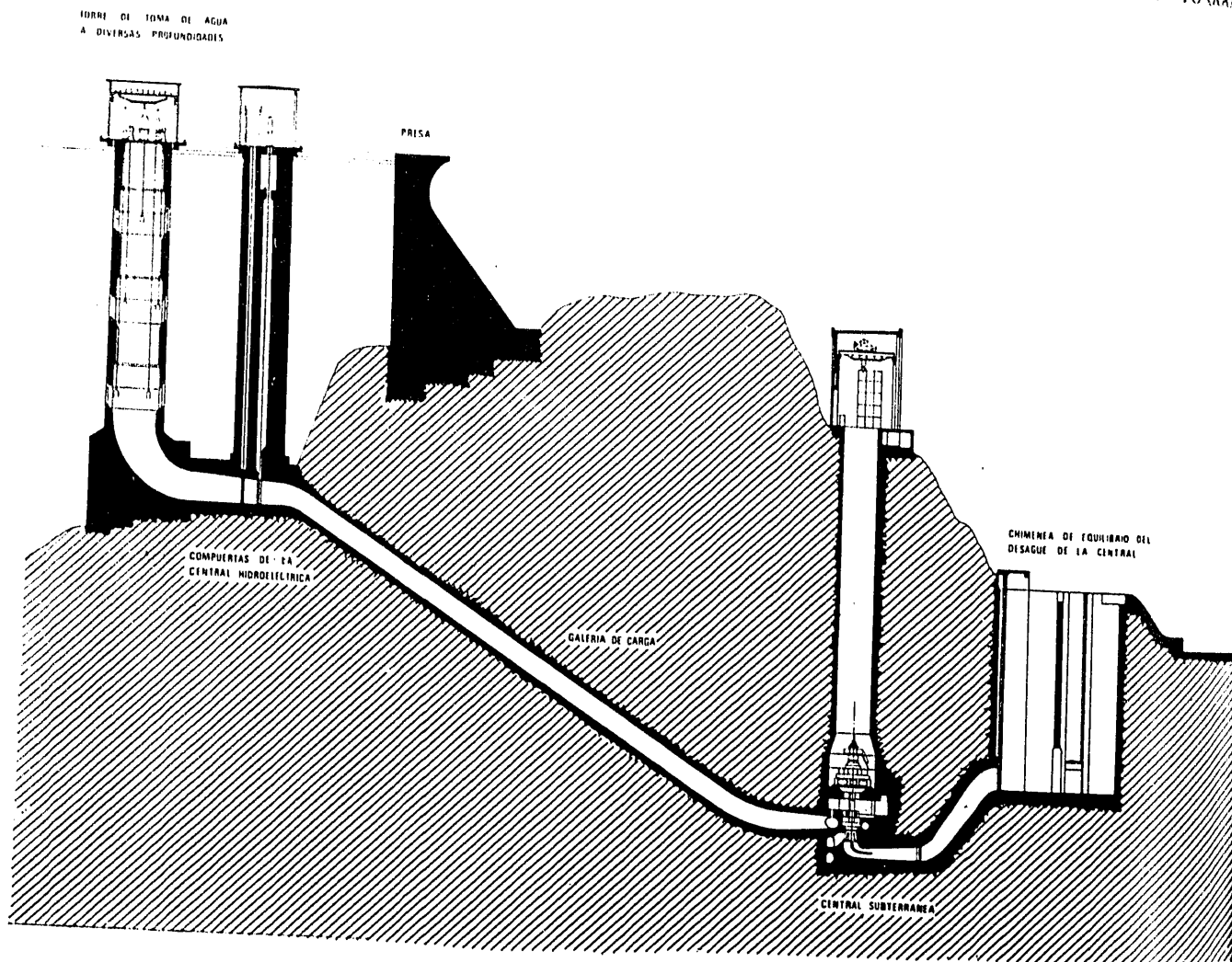


Fig. 4.ª — Esquema del salto de pie de presa de Sau.

Fig. 5.ª — Presa de Susqueda en construcción.



6

kVA., con un caudal máximo de 70 m.³/seg; la de Susqueda, 90 000 kVA., con un caudal máximo de 50 m.³/seg., y la del Pasteral, 8 000 kVA., con un caudal máximo de 25 m.³/seg. La producción media anual del conjunto se calcula en 300 millones de kVA.-hora.

Las obras de las centrales hidroeléctricas se han dispuesto de forma que se pudieran establecer diversos niveles de toma de agua de los embalses, para tener posibilidades de actuar sobre la evolución bioquímica del agua embalsada y sobre la calidad del agua del embalse destinada al abastecimiento.

El sistema de regulación y aprovechamiento hidroeléctrico Sau-Susqueda-Pasteral, aparte de coordinar una posible producción de energía de puntas estacionales y diarias y una máxima utilización del salto, así como una selección del agua más apropiada para el abastecimiento, han constituido una afortunada experiencia de co-

laboración del Estado y del concesionario hidroeléctrico en la financiación de las obras.

Se comprende que las capacidades reguladoras de los embalses exceden de las que resultarían económicas para un aprovechamiento con fines exclusivamente hidroeléctricos. A pesar de ello, si bien el Estado ha construido a su cargo el embalse de Sau, la empresa concesionaria del aprovechamiento hidroeléctrico del conjunto financia en su totalidad, además de las instalaciones hidroeléctricas propiamente dichas, el embalse de Susqueda. El Estado ha renunciado, a cambio, al canon que hubiera correspondido pagar a la empresa hidroeléctrica por la regulación conseguida con el embalse de Sau.

La mejora y ampliación de regadíos en el bajo Ter, permitirá pasar de una zona regable de 7 000 hectáreas, deficientemente dotadas, a un total de 17 000 hectáreas con riego asegurado. Esta transformación comprende las siguientes obras que se esquematizan en la figura 6.ª.

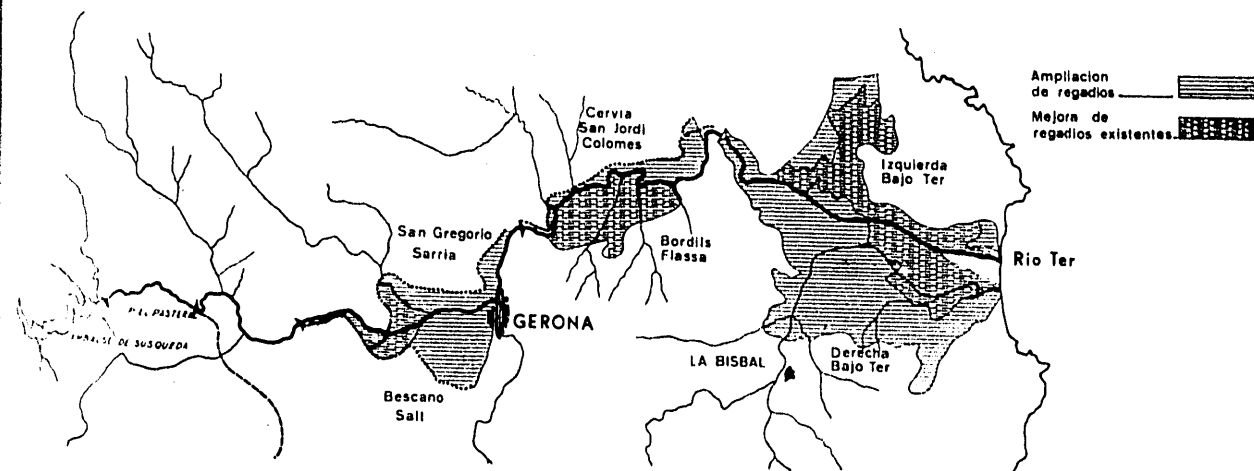


Fig. 6.ª — Plan de riegos del río Ter.

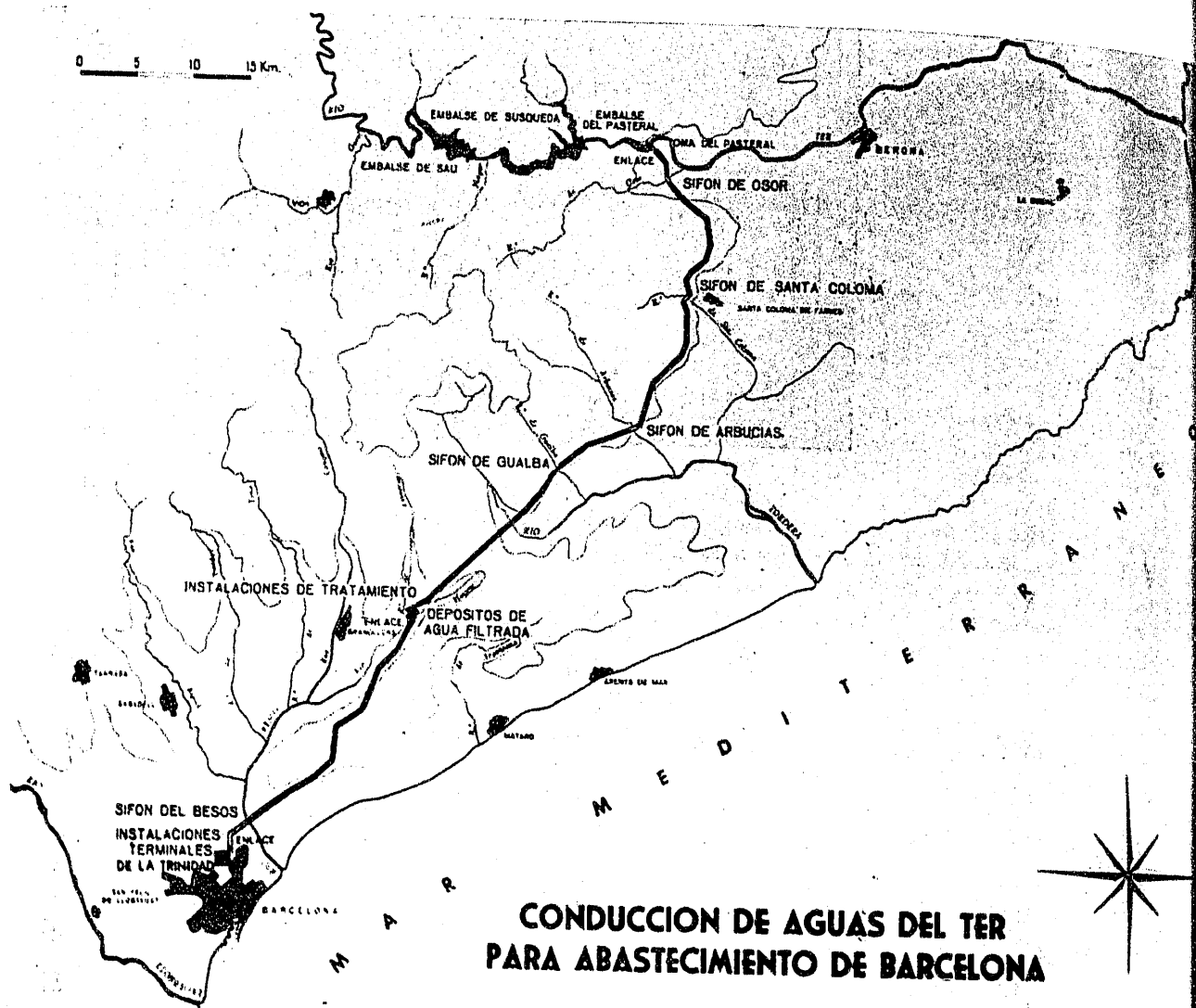


Fig. 7.^a — Plano general de las obras del Nuevo Abastecimiento de agua a Barcelona.

Plan de riegos del Ter.

Z O N A	Hectáreas dominadas	Canal — Km.	Capacidad del canal — m. ³ /s.	Consumo anual — Hm. ³
Bescanó-Salt ...	1 500	11,5	2,160	10
San Gregorio-Sarriá	1 100	18,7	1,038	8
Cerviá-San Jordi Colomés...	1 200	22,3	1,088	9
Bordils - Flassá.	1 200	Actual.	Actual.	9
Derecha bajo Ter	7 000	55,0	8,015	48
Izquierda bajo Ter	5 000	15,2	8,400	34
TOTALES ...	17 000	122,7	—	118

Conducción de aguas del Ter a Barcelona.

La conducción de aguas del Ter a Barcelona y su zona de influencia, con una capacidad de 8 m.³/seg., se inicia en el estribo derecho de la presa del Pasteral. Este pequeño embalse cumple su función compensadora mediante una variación de nivel entre las cotas 184 y 186 sobre el nivel del mar, esta última de coronación de la presa-aliviadero.

La toma del nuevo abastecimiento de agua a Barcelona está constituida por un amplio canal de entrada, provisto de dispositivos de limpieza de fondo y de superficie, que termina en el estribo derecho de la presa, el cual está atravesado por dos tuberías de 1,60 m. de diámetro.

Estas tuberías vierten el agua a un cuenco amortiguador situado inmediatamente aguas abajo, a través de sendas válvulas Larnier, cuya abertura se halla regulada por un dispositivo neumático accionado automáticamente en función del caudal que registra un Venturi situado aguas abajo.

Entre el cuenco amortiguador y el origen del canal se han dispuesto dos tamices de tambor, de 4,65 m. de diámetro y 4,00 m. de longitud, con malla de acero inoxidable de 0,25

empujes previsibles de los terrenos que se atraviesan. En los terrenos en que son de prever empujes moderados, bien por la naturaleza de aquéllos o por el pequeño espesor del recubrimiento, se han adoptado sección en herradura peraltada con 2,8 m. de ancho y 3,15 m. de altura. En los terrenos no rocosos y con recubrimientos considerables se ha adoptado sección circular de 3,05 m. de diámetro.

El calado de agua en ambas secciones, para un caudal de 8 m.³/seg., es de 2,39 m., la pen-

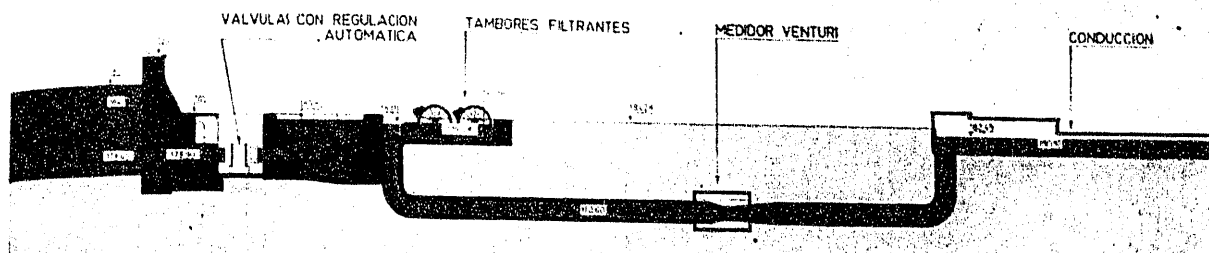


Fig. 8.ª — Esquema de las instalaciones de toma en el Pasteral.

milímetros de paso, velocidades lineales en el giro de 11,50 y 5,75 m./minuto, velocidad de paso del agua a través de la malla de 0,10 metros/seg., con lavado automático en función de la diferencia de niveles a ambos lados del tambor.

La conducción propiamente dicha, entre la toma del Pasteral y la Estación de Tratamiento, con una longitud de 56 Km., se hace a nivel libre, mediante un canal construido en túnel prácticamente en su totalidad. Las secciones adoptadas para este canal son dos, según los

diente del canal 0,0004 y la velocidad 1,35 metros/seg. El trazado está constituido por alineaciones rectas, con accesos en las vértices, y en su caso, puntos intermedios no separados más de 3 Km., dispuestos de tal forma que puedan llevarse a cabo inspecciones periódicas con la conducción en servicio con un caudal de las dos terceras partes de su capacidad total.

En la conducción a nivel libre entre la toma del Pasteral y la Estación de Tratamiento, se intercalan cuatro sifones de las siguientes características:

Denominación	Longitud m.	Carga máxima m.	Sección m.	Tipo de tubería
Osor	274	21	2 ϕ 1,75	Prefabricado de hormigón pretensado.
Santa Coloma	436	32	2 ϕ 1,75	Prefabricado de hormigón pretensado.
Arbucias	308	55	2 ϕ 1,75	Prefabricado de hormigón armado con camisa chapa.
Gualba	331	14	1 ϕ 2,80	In situ de hormigón armado.

Las cabezas de entrada a estos sifones se han utilizado para seccionar la conducción, estableciendo inmediatamente aguas arriba de los seccionamientos aliviaderos y compuertas de desagüe de fondo del canal.

La conducción a nivel libre termina en la Estación de Tratamiento, situada en los confines de los términos municipales de La Roca del Vallés, Cardedeu y Llinás del Vallés. Inmediatamente aguas abajo de la estación se han situado dos depósitos de agua filtrada, de 125 000

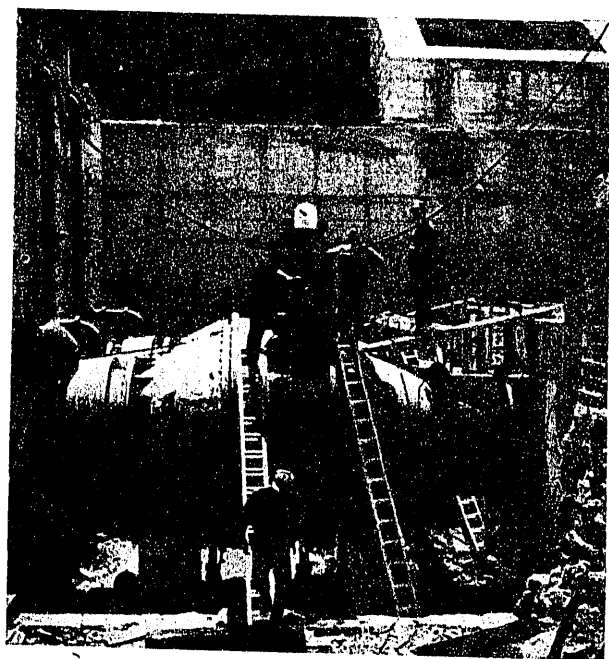


Fig. 9.ª — Válvulas Larnier de la toma en el Pastoral.

metros cúbicos de capacidad cada uno, ampliables con nuevas unidades hasta una capacidad total de 600 000 metros cúbicos.

Estos depósitos están formados por muros de recinto de contrafuertes, contruidos en hormigón armado, con una superficie de planta de 150×120 m. y un calado de 7 m. Las cubiertas se forman mediante placas triangulares prefabricadas, apoyadas directamente por sus vértices en las cabezas de pilares de hormigón armado separados 5 m. en una dirección y 6,66 m. en la otra. La forma de trabajo de las piezas prefabricadas que constituyen la cubierta, es la de bóveda, cuyos empujes se concentran en las vértices del triángulo y son absorbidos mediante tirantes embebidos en el hormigón de los costados de las piezas; esta forma de trabajo determina que la parte resistente de

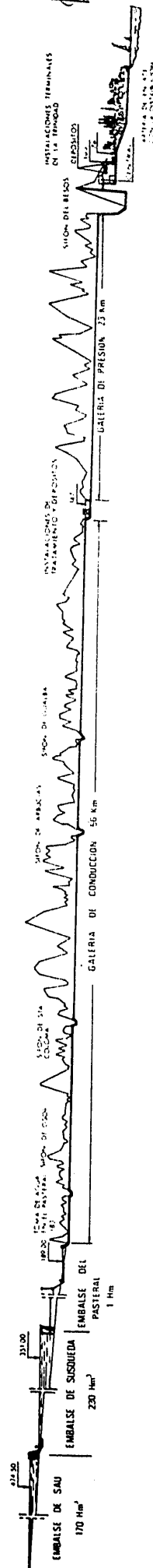
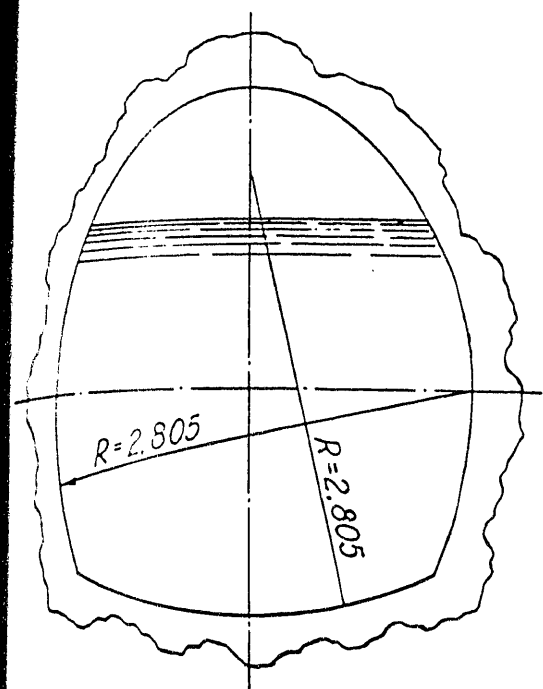


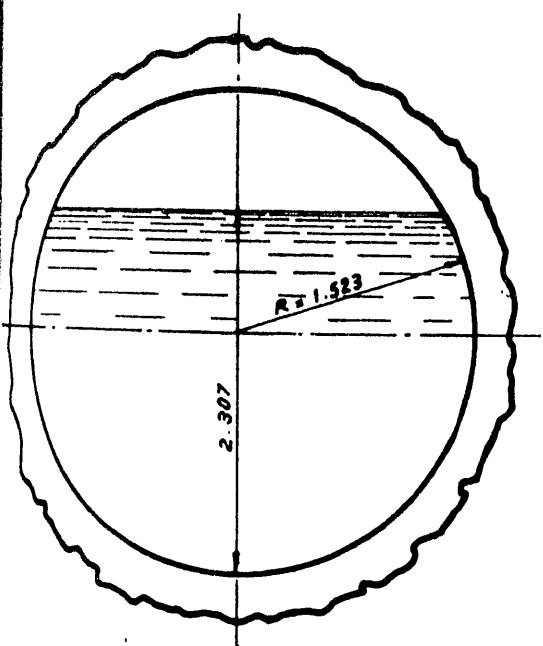
Fig. 10. — Perfil longitudinal de la conducción del Ter a Barcelona.

la cubierta sea muy ligera en relación con las luces que se salvan y que la sección de acero necesaria sea también pequeña.

Los depósitos de agua filtrada constituyen, en realidad, la cabecera de la distribución, puesto que la conducción a partir de los mismos, se dispone a presión y, si por su extremo final su-



SECCION TOTAL	7,282	m. ²
SECCION MOJADA	6,029	m. ²
CAUDAL	8,000	m. ³ /seg.
PENDIENTE	0,0004	
VELOCIDAD	1,352	m./seg.



SECCION TOTAL	7,283	m. ²
SECCION MOJADA	5,915	m. ²
CAUDAL	8,000	m. ³ /seg.
PERDIDA DE CARGA	0,0004	
VELOCIDAD	1,352	m./seg.

Fig. 11.— Secciones de la conducción a nivel libre.



Fig. 12.— Túnel con sección en herradura.

ministra a Barcelona, a lo largo de su recorrido está previsto llevar a cabo tomas para la zona de influencia.

Desde la obra de salida de depósitos y planta de tratamiento hasta el principio del llamado sifón del Besós, en una longitud de 23 Km., la conducción está constituida en su casi totalidad por la galería de presión de 3 m. de diámetro revestida de hormigón o de hormigón armado, según la naturaleza de los terrenos atravesados. En pequeños tramos que afloran al exterior se ha dispuesto una tubería de hormigón armado de 3 m. de diámetro construida *in situ*. Las presiones de toda esta parte varían entre una y tres atmósferas.

La conducción tiene una pendiente uniforme de 0,0004 y en caso de necesidad, por ejemplo, para su inspección en servicio, puede funcionar en régimen de canal, conduciendo hasta 8 m.³/seg. A este objeto, en el origen del sifón

El sifón del Besós, aunque en funcionamiento normal, no es rigurosamente un sifón, porque por su parte de aguas arriba no funciona a lámina libre, es la obra de su clase más importante de la conducción. Tiene una longitud



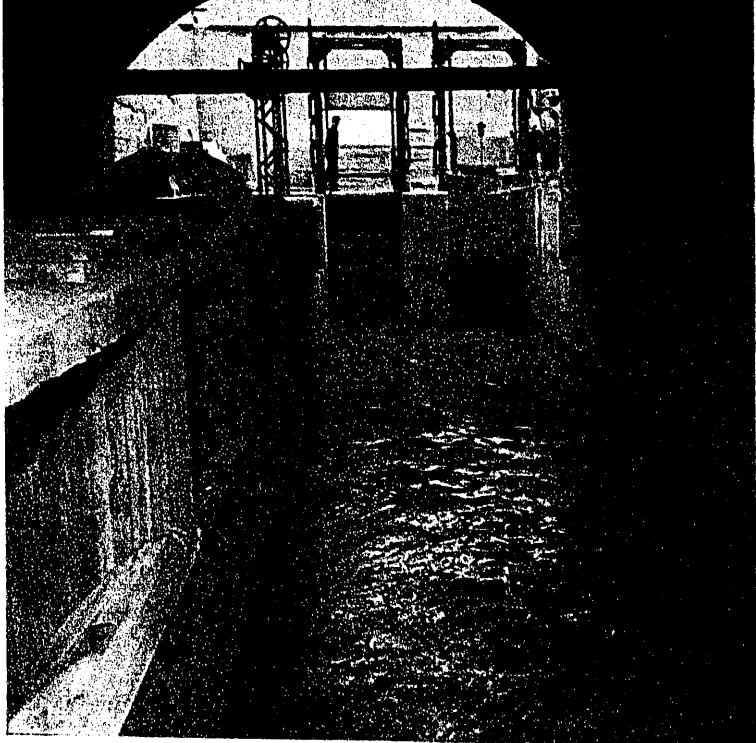
Fig. 13. — Tuberías del sifón de Osor.

del Besós, se dispone de desagües con aliviadero regulable. En su funcionamiento normal a presión, el caudal conducido puede ser algo superior a 8 m.³/seg. y atenderse, al menos parcialmente, con los depósitos de agua filtrada, la variación diaria de consumos.

de 1700 m., una sección doble de tubería 1,60 m. de diámetro y una carga máxima 153 metros.

Las tuberías del ramal descendente son hormigón armado con camisa de chapa aljadas en zanjas. El paso del cauce del río

Fig. 14. — Cabeza de entrada y almenara del sifón de Osor.



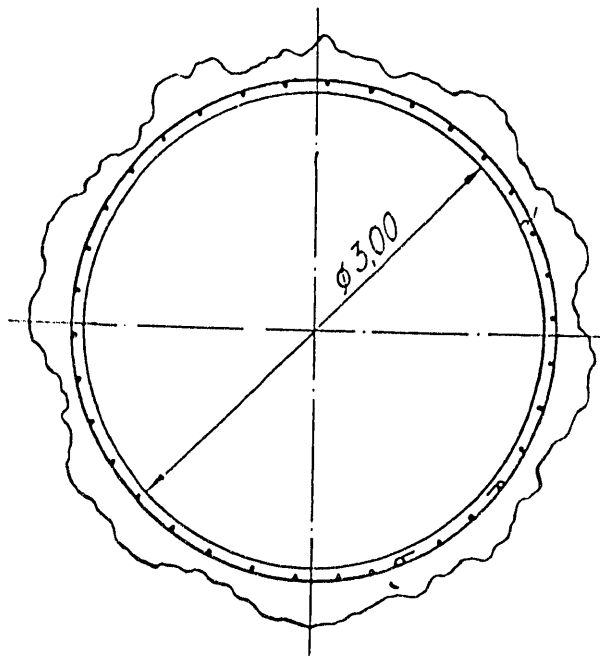
por debajo de éste, mediante tuberías de la misma clase alojadas en galerías visitables. El ramal ascendente está formado por doble conducción de 1,60 m. de diámetro blindado con tubo de acero autorresistente, revestido interiormente de hormigón y relleno exteriormente con mortero inyectado desde el interior; estas conducciones tienen una parte casi horizontal construida en galería, continuándose por otra vertical construida en pozo, de 170 m. de profundidad.

Los expresados pozos forman las chimeneas

de equilibrio de dos centrales subterráneas que, con sendos depósitos de cabecera de distribución, constituyen las denominadas instalaciones terminales de la Trinidad. El nivel libre en las chimeneas de equilibrio variará entre las cotas 154 y 134, según sean los consumos y la reserva en los depósitos de agua filtrada, y las dos centrales entregarán, en todo caso, el agua a los niveles de distribución a cotas 70 y 100 sobre el nivel del mar, respectivamente. El nivel 130 tomará el agua directamente de las chimeneas de equilibrio, sin pasar por las centrales, utili-

Fig. 15. — Depósitos de agua filtrada y piezas prefabricadas para la cubierta.





SECCION TOTAL	7,068	m. ²
SECCION MOJADA	7,068	m. ²
CAUDAL	8,000	m. ³ /seg.
PERDIDA DE CARGA	0,0004	
VELOCIDAD	1,132	m./seg.

Fig. 16. — Sección de la galería de presión.



Fig. 17. — Galería de presión.

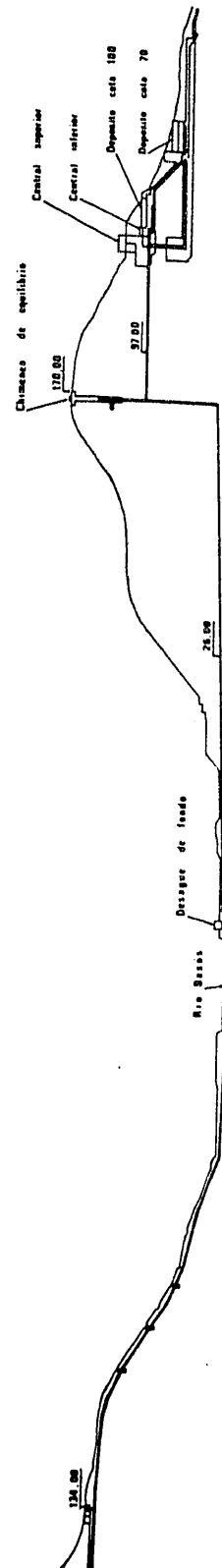


Fig. 18. — Esquema del sifón del Besós e instalaciones terminales de la Trinidad.

Tratamiento de las aguas del río Ter.

Es pieza fundamental del nuevo abastecimiento de agua a Barcelona, con la regulación del río y la conducción, el tratamiento de las aguas almacenadas en los embalses antes de darlas al consumo.

Las aguas del río Ter, dentro de las variaciones correspondientes a las del régimen de aportaciones del río y a las distintas épocas del año, tienen características químicas generales comprendidas entre las cifras siguientes:

pH	7,50/8,50	
Alcalinidad CO_3Ca	100/160	p.p.m.
Dureza total CO_3Ca	180/220	»
Cloruros Cl	18/20	»
Sulfatos SO_4	60/70	»
Calcio Ca	50/60	»
Magnesio Mg	8/10	»
Sodio Na	18/20	»
Potasio K	3/5	»

Con una cuenca afluyente de 1 870 Km^2 , la población asciende a unos 86 000 habitantes, los cultivos se extienden a unos 200 Km^2 , y la industria más importante corresponde a los ramos textil, papeleros y de la piel, con una producción en estos dos últimos ramos de 11 000 y 12 000 Tm./año.

La repercusión de la población, la agricultura y la industria en la impurificación de las aguas del río, teniendo en cuenta las aportaciones medias de éste y las capacidades reguladoras disponibles, es pequeña desde un punto de vista químico.

La permanencia del agua en los embalses determina que se disponga siempre para el consumo de agua con turbiedades bajas, inferiores a 100 p.p.m. de SiO_2 . El ciclo biológico del embalse se ha establecido claramente en los dos años que han transcurrido desde el primer llenado del embalse de Sau, dando lugar a la formación de capas de agua de diferentes características en los períodos de primavera a otoño. Aunque el desarrollo de materia orgánica alcanza niveles elevados en algunos meses y se observan claramente fermentaciones anaerobias a partir de cierta profundidad, ni las especies de algas que se han desarrollado han hecho difícil el tratamiento de las aguas superficiales, ni se han observado, en las profundas, conteni-

dos elevados de hierro, y, sólo ocasionalmente indicios de manganoso.

Desde fines del año 1964 se vienen realizando experiencias de tratamiento del agua del embalse de Sau, en una planta piloto establecida especialmente en dicho embalse. En dicha planta, aparte de dispositivos adecuados para preparación y mezcla de los diversos reactivos, se dispone de dos filtros de un metro cuadrado de sección, un decantador vertical convencional de 7 m^2 de sección y un decantador "pulsator" de 5 m^2 de sección. Las experiencias realizadas permiten establecer que, mediante el uso de cloro, sulfato de alúmina y sílice, pueden obtenerse en cualquier época del año aguas que cumplan las condiciones exigidas de:

Turbiedad	< 1 p.p.m. de Si_2 .
Color	< 5 unidades de Allen Hazen.
Materia orgánica	< 2,5 p.p.m. de reducción de oxígeno del Permanganato potásico en medio ácido.
Índice de clorofila	< 1 mgr./ m^3 .

Los consumos de cloro en precloración y del sulfato de alúmina y la sílice activada, en las épocas de mayor desarrollo de materia orgánica, han resultado de 3,5, 25 y 1 p.p.m., respectivamente. El volumen de agua filtrada que produce la colmatación del filtro, sin decantación previa del agua, varía entre 150 m^3/m^2 en aguas claras y con poca materia orgánica correspondientes a épocas de invierno, y 50 metros cúbicos/ m^2 , en aguas superficiales muy cargadas de materia orgánica correspondientes a épocas de verano. Con aguas decantadas previamente a su filtración, se ha comprobado que el volumen de agua filtrada para colmatar el filtro depende poco del contenido de materia orgánica del agua cruda. Con el decantador "pulsator" ha sido posible una decantación eficaz de aguas superficiales con turbiedades de sólo 10 p.p.m., y una materia orgánica de 3,5 partes por millón de O_2 de reducción de permanganato, con una precloración de 2,5 p.p.m. y una adición de 20 p.p.m. de sulfato de alúmina y 1 p.p.m. de SiO_2 , no colmatándose los filtros hasta haber filtrado volúmenes superiores a 300 metros cúbicos/metro cuadrado.

Estas experiencias se han desarrollado paralelamente a la construcción de la planta de tratamiento, y sólo han podido tenerse parcialmente en cuenta para introducir modificaciones de detalle en el proyecto de la misma. Este pro-

recto se estableció sobre la base de disponer de una instalación capaz de hacer frente a cualquier eventualidad para tratar un caudal de 4 m.³/seg., y que fuera fácilmente ampliable hasta un caudal de 8 m.³/seg., teniendo en cuenta para la ampliación los resultados que se obtuvieron en el primer período de explotación.

La planta de tratamiento establecida comprende instalaciones para los siguientes procesos:

Precoloración, con fuertes dosis de cloro.

Coagulación, con sulfato de alúmina, cloruro férrico u otro producto.

Adición de sílice activada para coadyuvar a la coagulación.

Corrección del pH, con cal, adicionada en forma de lechada y con SO₄H₂ diluido.

Decantación.

Filtración rápida a través de arena.

Esterilización, con ajuste de la dosis de cloro residual, mediante adición de cloro, si existe defecto en el agua, o de SO₂ si en el agua existe un exceso de cloro procedente de la precoloración. El cloro se puede combinar en forma de cloraminas, mediante adición de amoníaco.

Postcloración del agua, con ajuste automático de la dosis de cloro a la salida de los depósitos hacia el consumo.

Adición de carbón activo antes de la decantación, para eventuales luchas contra olores o sabores.

La instalación se establece de forma que se pueda pasar el agua, adicionada de reactivos, directamente a los filtros, sin pasar por los decantadores, e incluso dejar fuera de servicio la

totalidad de la planta, enviando agua cruda esterilizada directamente a Barcelona.

Los principales elementos de la instalación son:

Obra de llegada.

En esta obra, se realiza el paso del agua de la conducción rodada a conducción forzada.

Tiene un rebosadero para que cuando llegue a la planta un caudal superior al que se desea tratar, vierta el exceso al río Mogent, mediante una tubería de 1,85 m. de diámetro. Asimismo, permite realizar el vaciado total del canal de conducción, así como desviar el agua cruda para enviarla a Barcelona, sin que pase a través de la planta de tratamiento. También se ha tenido en cuenta en el proyecto de esta obra la posibilidad de aerar el agua cruda. A tal objeto, bastaría construir una casa de bombas, para enviar el agua a la aeración, con un retorno por vertedero a la obra de llegada, de donde pasaría el agua al tratamiento general. En esta obra se adicionará el cloro de precoloración y se tomarán medidas continuas de pH y temperatura.

Venturi de medida de agua cruda.

Para conocer en todo momento el caudal instantáneo de agua cruda, totalizar el agua que llega a la planta y accionar los dosificadores de reactivos en función del caudal de agua a tratar, se ha previsto un Venturi, situado en la tubería de 2,25 m. ϕ que va desde la obra de llegada a la obra de mezcla y repartición.

Las características principales del Venturi son las siguientes:

Diámetro en la tubería en la zona de toma de alta presión	2 250 mm. $\pm$ 10 mm.
Diámetro de la garganta del Venturi	1 226,7 mm. $\pm$ 1,2 mm.
Presión diferencial a 8 m. ³ /seg.	2 200 mm. C.A.
Pérdida de carga residual a 8 m. ³ /seg.	245 mm. C.A.
Exactitud de medida	$\pm$ 2,5 %

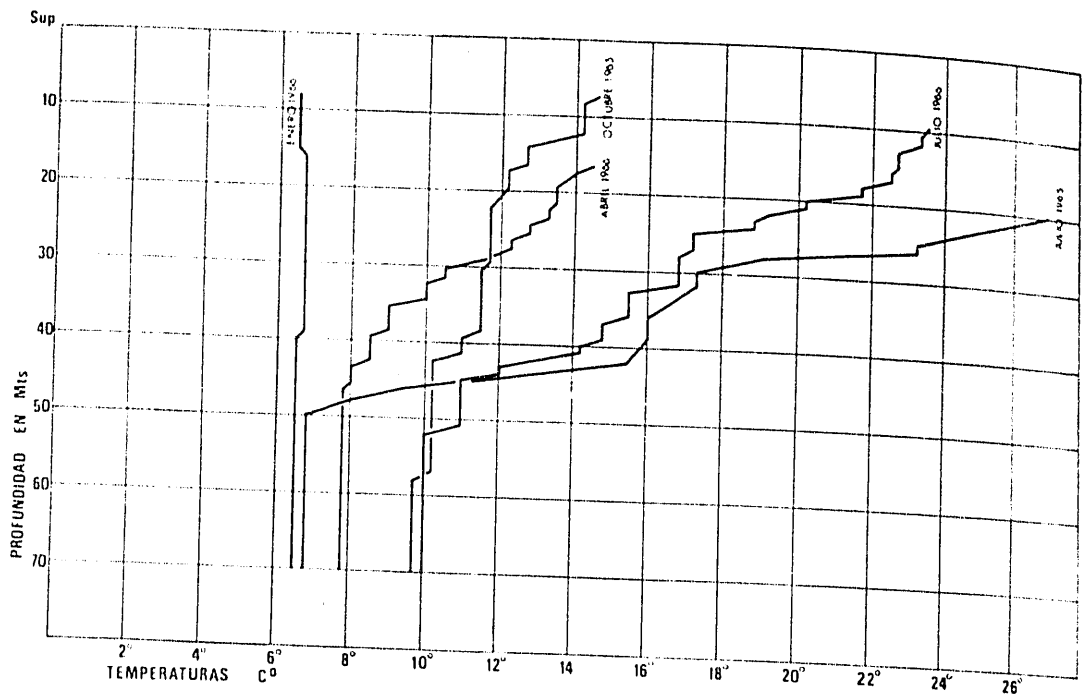


Fig. 21 -- Gráfico de variación de temperaturas en el embalse de Sau.

El Venturi se ha equipado con un transmisor de presión diferencial que envía sus indicaciones al registrador de caudal, situado en la sala de control, que totaliza el agua que llega a la planta. El totalizador da un impulso eléc-

trico cada vez que a través del Venturi pasan 240 m.³ de agua, y este impulso pone en marcha los dosificadores durante un tiempo prefijado, de tal manera que la cantidad de reactivo dosificado es proporcional al caudal.

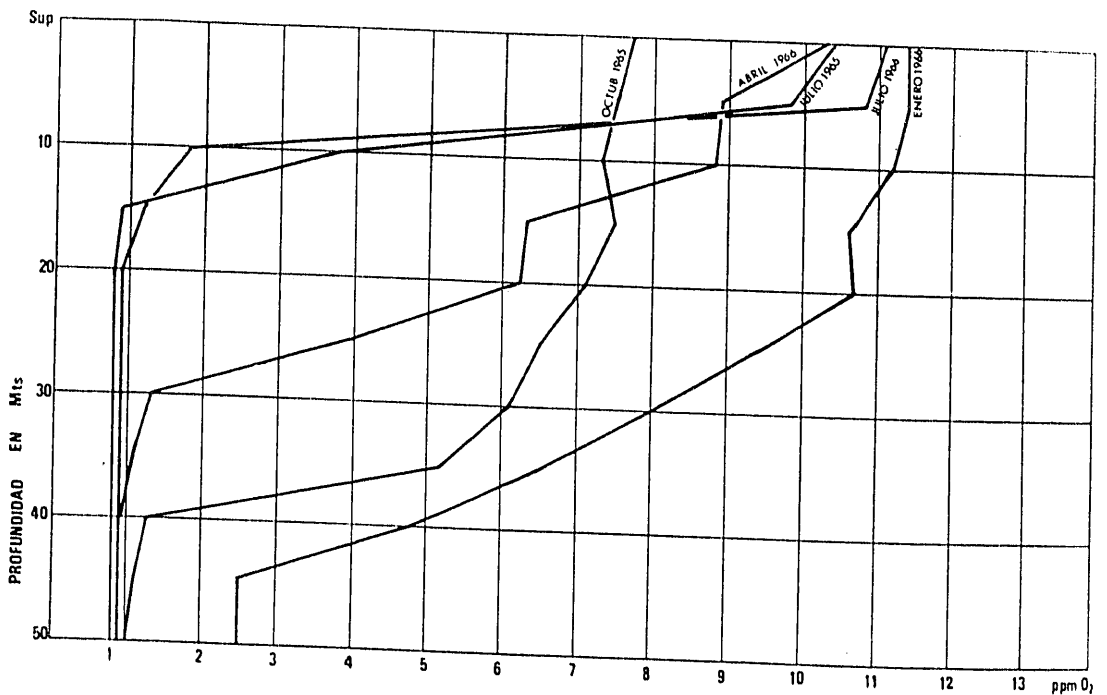


Fig. 22. — Gráfico de variación del contenido de oxígeno en el embalse de Sau.

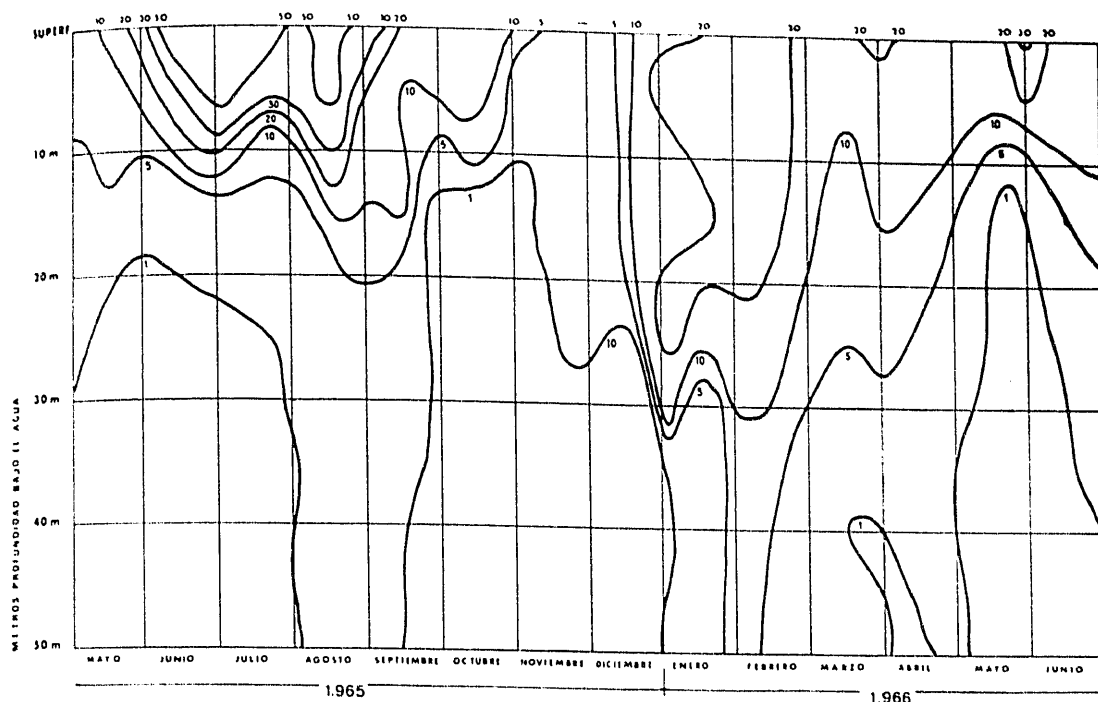


Fig. 23.— Gráfico de variación del desarrollo de algas en el embalse de Sau.

Obra de mezcla y repartición.

En la obra de mezcla se han instalado las rampas de inyección de coagulante, sílice activada, cal, carbón activo y ácido. La mezcla se realiza por medio de cuatro mezcladores de

14 CV. cada uno, a 14 r.p.m. De esta obra el agua pasa a la obra de repartición, cuya misión es distribuirla a cada uno de los decantadores. Esto se consigue con cuatro compuertas motorizadas e indicación continua del caudal que pasa a cada uno de los decantadores.



Fig. 24.— Detalle de la planta piloto de Sau.

Decantadores.

Son del tipo Pulsator-Degremont, con las siguientes características:

Número de decantadores	Cuatro rectangulares.
Dimensiones de cada decantador (interiores)	$36,75 \times 36,50 \text{ m.}^2$.
Superficie total de decantación	$5\,365,50 \text{ m.}^2$.
Altura medida de agua en los decantadores	5 metros.
Volumen total de agua en los cuatro decantadores	$26\,827,5 \text{ m.}^3$.
Tiempo medio de retención a caudal de $4 \text{ m.}^3/\text{seg.}$	1 hora 51 minutos.
Velocidad ascensional media $\frac{4 \times 3\,600 \text{ m.}^3/\text{h.}}{5\,365,50 \text{ m.}^2} =$	$2,683 \text{ m.}^3/\text{m.}^2 \times \text{hora.}$
Forma de realizar las purgas de fangos	Automática temporizada.

Filtros.

Son del tipo Aquazur-Degremont, de las siguientes características:

Longitud	14,95 m.
Anchura de cada tanque de filtración	3,10 m.
Anchura total de un filtro	7,60 m.
Superficie filtrante de un filtro	$92,69 \text{ m.}^2$.
Altura del lecho de arena	0,80 m.
Altura de agua sobre la arena, en filtración	0,50 m.
Altura de agua sobre la arena, en lavado	0,70 m.
Número de filtros en la primera etapa ($6 \text{ m.}^3/\text{seg.}$)	32
Superficie filtrante total	$32 \times 92,69 = 2\,966,08$ metros cuadrados.
Velocidad normal prevista para la filtración	$7,50 \text{ m.}^3/\text{m.}^2 \times \text{hora.}$
Parada al llegar a colmatación	Automática.
Iniciación del ciclo de lavado	Manual.
Ciclo de lavado	Automático.
Duración media de un lavado	Trece a dieciocho minutos.
Forma de lavado	Por agua filtrada y aire a contracorriente.
Consumo medio de agua en cada lavado	$3,5 \text{ m.}^3/\text{m.}^2$ superficie filtrante.
Intervalo entre lavados	Variable. Superior a cuarenta y ocho horas a velocidad normal.

A la salida de los filtros se realiza la esterilización con Cl_2 , NH^3 o SO_2 , por lo cual se ha instalado un analizador continuo de cloro que acciona automáticamente, con indicación y regulación en la sala de control, los dosificadores de dichos gases.

Obra de salida.

Se ha diseñado y construido de forma que permite:

Enviar el agua tratada, procedente de depósitos a Barcelona.

Enviar el agua tratada a Barcelona, sin pasar por depósitos (caso de limpieza de los mismos). **6**

Enviar agua esterilizada a Barcelona, sin pasar por la planta de tratamiento.

Enviar al río Mogent el agua perdida por el aliviadero de la obra de llegada.

En esta obra de salida se ha dispuesto un segundo analizador de cloro residual, con indicación en la sala de mandos, que permite ajustar el cloro residual del agua que se suministra al consumo.

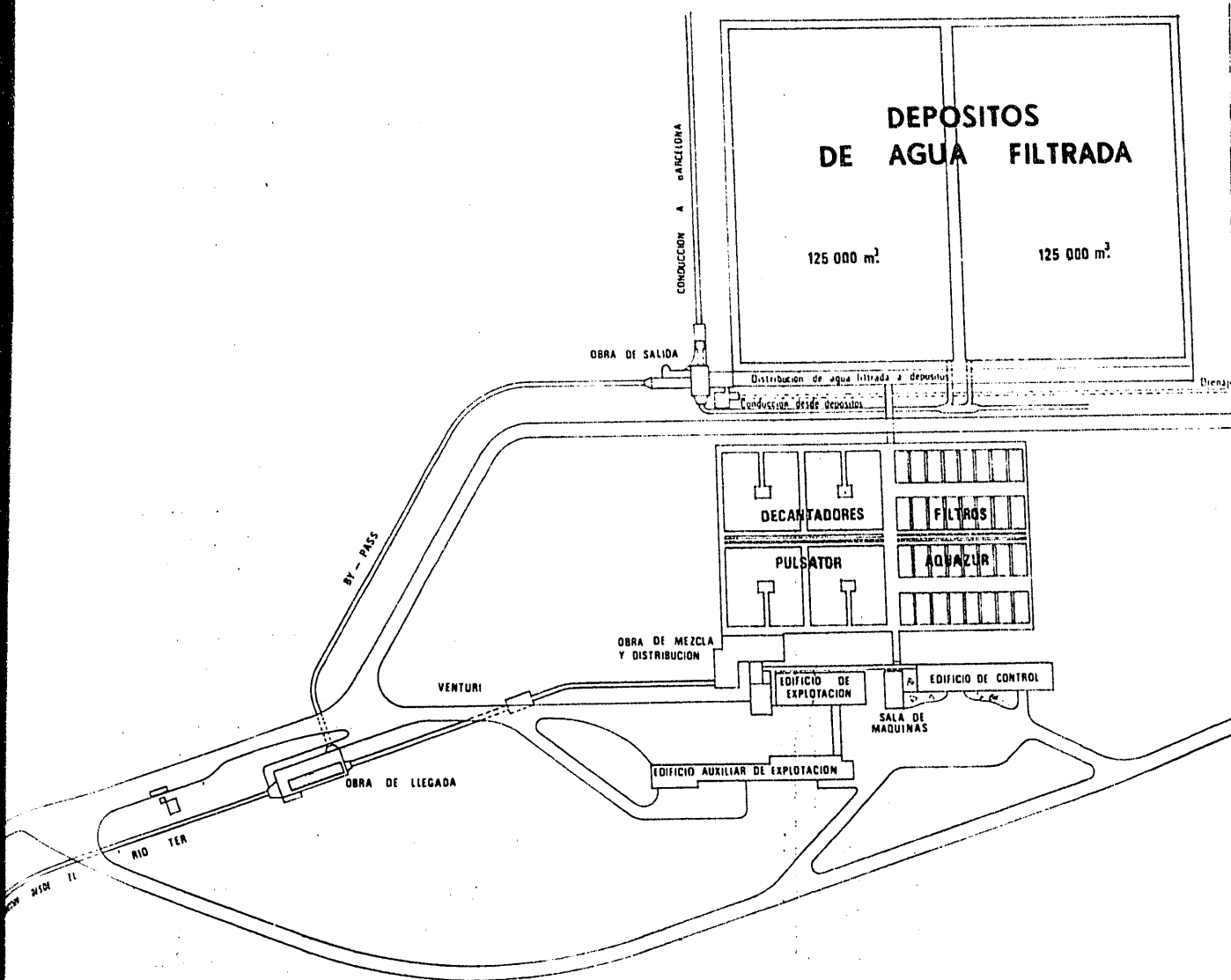


Fig. 25.—Plano general de la planta de tratamiento y depósitos de agua filtrada.

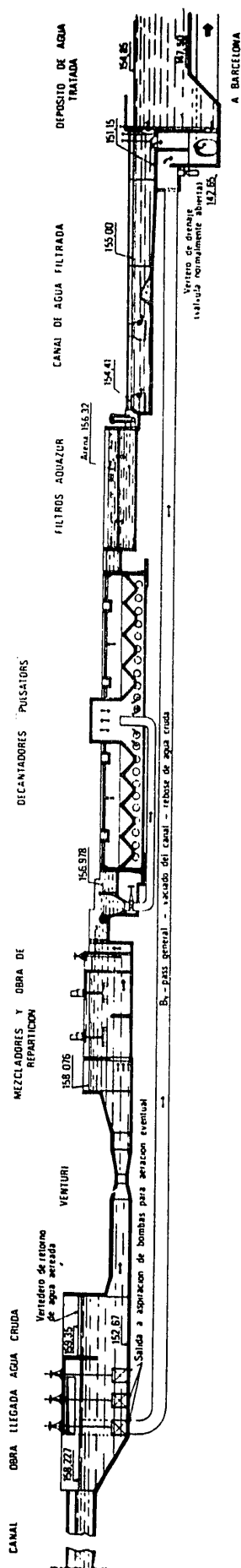


Fig. 26. — Esquema longitudinal del tratamiento y depósitos de agua filtrada.

Edificio principal de explotación.

Agrupar los siguientes servicios:

Descarga y almacenamiento, preparación y dosificación de sulfato de alúmina en polvo o grano, cal en polvo, carbón activo, cloro, amoníaco, anhídrido sulfuroso, ácido sulfúrico y silicato sódico.

Depósito elevado de agua tratada, para el abastecimiento de la planta.

Subestación eléctrica de transformación y distribución en baja tensión.

Talleres auxiliares y almacén de repuestos.

Edificio auxiliar de explotación.

Contiene los siguientes servicios:

Almacén de coagulantes cualesquiera y de sulfato de alúmina en cualquier forma de presentación.

Preparación de soluciones de coagulante con su dispositivo de agitación, válvulas y motobombas de impulsión de la solución.

Garaje para vehículos de servicio de la planta.

Vestuarios, aseos y duchas, enfermería, cantina, cocina y comedor para el personal obrero.

Sala de bombas y compresores de lavado.

Está dotada con dos grupos motobombas de caudal $1\,860\text{ m}^3/\text{h}$. a 11 m. C.A., y dos grupos motocompresores de caudal $5\,300\text{ m}^3/\text{h}$. a 350 gramos/cm^2 .

Dicha sala contiene, además, los grupos motobombas de alimentación de agua tratada para los servicios auxiliares de la planta y los compresores de suministro de aire a presión para accionamiento de las válvulas neumáticas.

Edificio de control.

Agrupar los siguientes servicios:

Recepción y sala de visitas.

Laboratorio químico y biológico.

Sala de control y mando de la planta.

Oficina del personal técnico y administrativo.

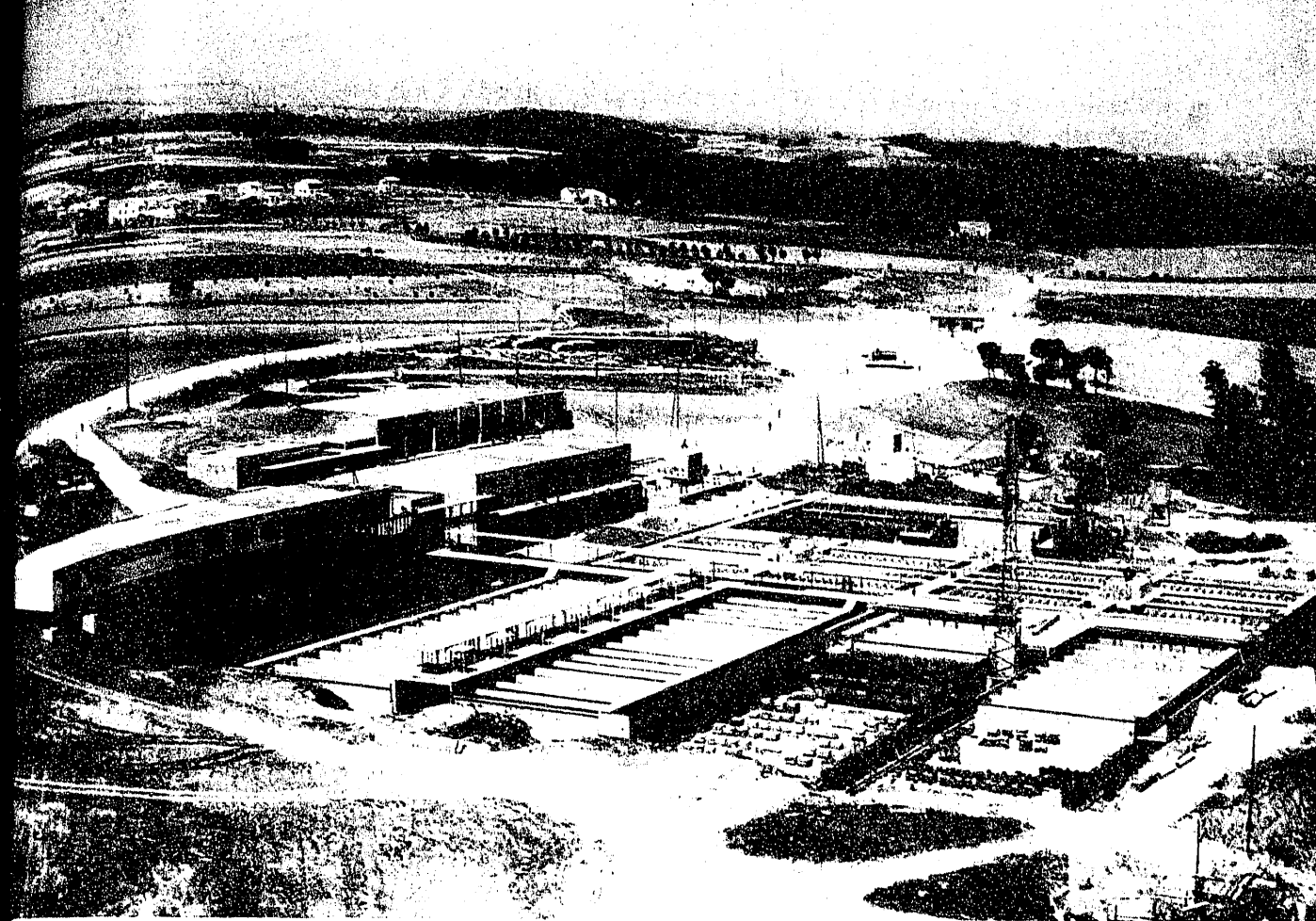


Fig. 27. — Vista de la planta de tratamiento.

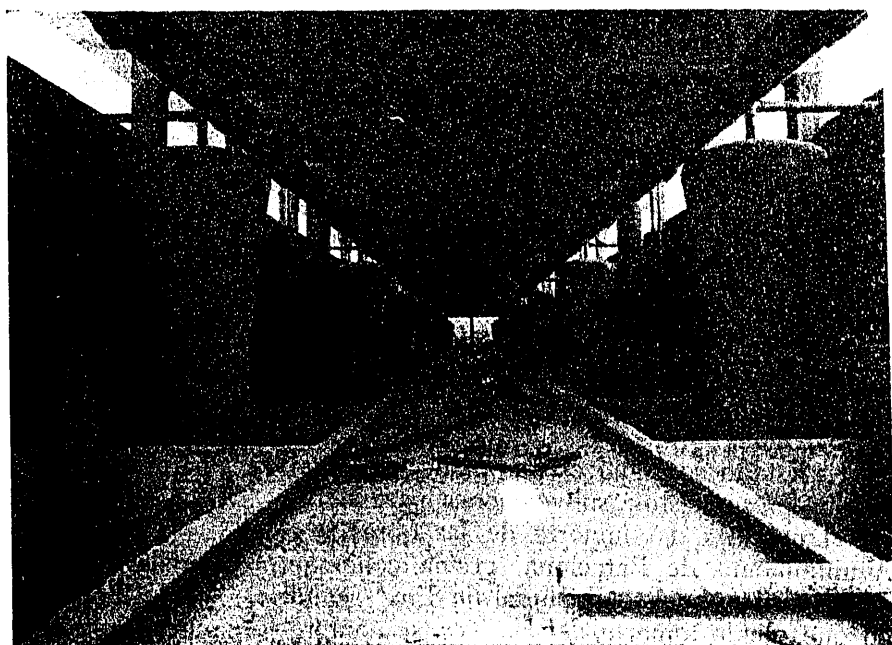


Fig. 28. — Galería de sifones
de una batería de filtros.

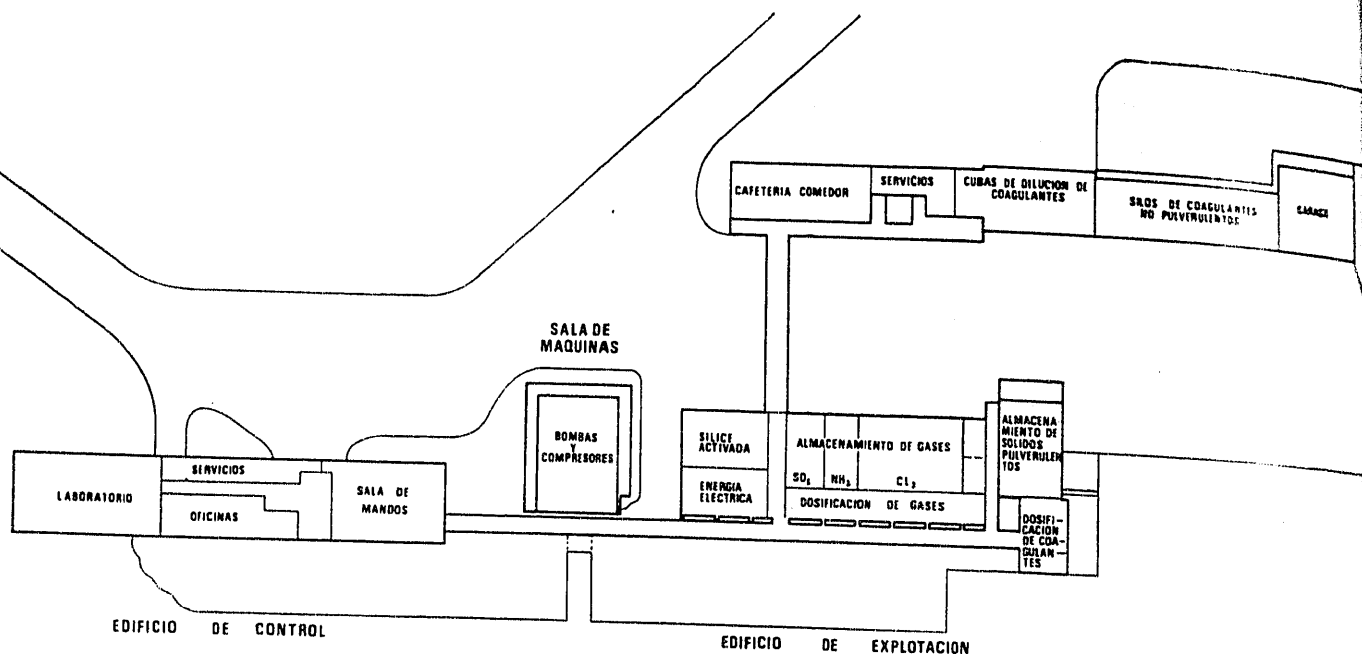


Fig. 29. — Planta de edificaciones y esquema de almacenamiento, preparación y dosificación de reactivos.

El cuadro de control recibe y registra todas las indicaciones de los distintos aparatos instalados en la planta de tratamiento, permitiendo seguir constantemente la marcha del proceso y conocer las condiciones en que tiene lugar, en todo momento, el funcionamiento de las instalaciones.

Ejecución de las obras de la traída de aguas del Ter.

Para la ejecución de las obras del nuevo abastecimiento de agua a Barcelona, se constituyó, por Decreto de 14 de noviembre de 1958, una Junta Administrativa, bajo la Presidencia de un Delegado del Gobierno, la Vicepresidencia del Alcalde de Barcelona y con representaciones de la Diputación Provincial de Barcelona, de los Departamentos de Obras Públicas, Hacienda y Administración Local, así como la del Fomento del Trabajo Nacional como entidad representativa de los sectores privados de Barcelona.

El Estado consignó en sus planes de inversión y presupuestos, subvenciones para cubrir el 50 por 100 del importe de las obras y el Ayuntamiento de Barcelona, previa concesión de 6,5 m.³/seg. del total caudal de 8 m.³/segundo que puede tomarse del río Ter, se compro-

metió a abonar el 50 por 100 restante de las obras de la primera etapa, habida cuenta que este importe no excedía de las 6,5/8 partes de la inversión necesaria para utilizar, en Barcelona y en su zona de influencia, los 8 m.³/segundo.

El propio Decreto del 14 de noviembre de 1958 autorizó a los Ayuntamientos beneficiarios, la imposición de contribuciones especiales para atender al pago de intereses y amortización de las operaciones de crédito que hubieran de establecerse para atender a las aportaciones municipales. Con estas garantías, el Ayuntamiento de Barcelona, para efectuar el total de sus aportaciones, ha obtenido los préstamos necesarios del Banco de Crédito Local, entidad oficial de préstamo y única fuente a que los Ayuntamientos han podido acudir, por imperativo legal, desde 1958 hasta la fecha.

Establecida la financiación de las obras, así como un proyecto general de las mismas, se procedió a la redacción de proyectos parciales para la ejecución, iniciándose por la de los túneles de la conducción que, por razón de la naturaleza de dichas obras, entrañaba los plazos de ejecución más largos y menos seguros.

La conducción se dividió en seis tramos principales, los dos sifones más importantes (Arbuñás y Besós) y tres pequeños tramos de enlace, cuya definición no era posible hasta que se

proyectaran las obras anejas (toma del Pasteral, Planta de Tratamiento, depósitos de agua filtrada e Instalaciones Terminales). Para la ejecución de la conducción se eligió el sistema de contrata, mediante concurso entre empresas constructoras que dispusieran de medios y acreditaran experiencia en trabajos de su clase, procurando, hasta cierto límite, adjudicar los diversos tramos a empresas distintas. Efectuada la tramitación de los proyectos, los concursos y las adjudicaciones, se iniciaron las obras del primero y segundo tramos en septiembre de

6 dificultades para la ejecución de los túneles, todas ellas han podido superarse sin dar lugar a excesivos retrasos en su ejecución. El sistema de varias contratas, mediante precios unitarios específicos para los distintos tipos de terrenos

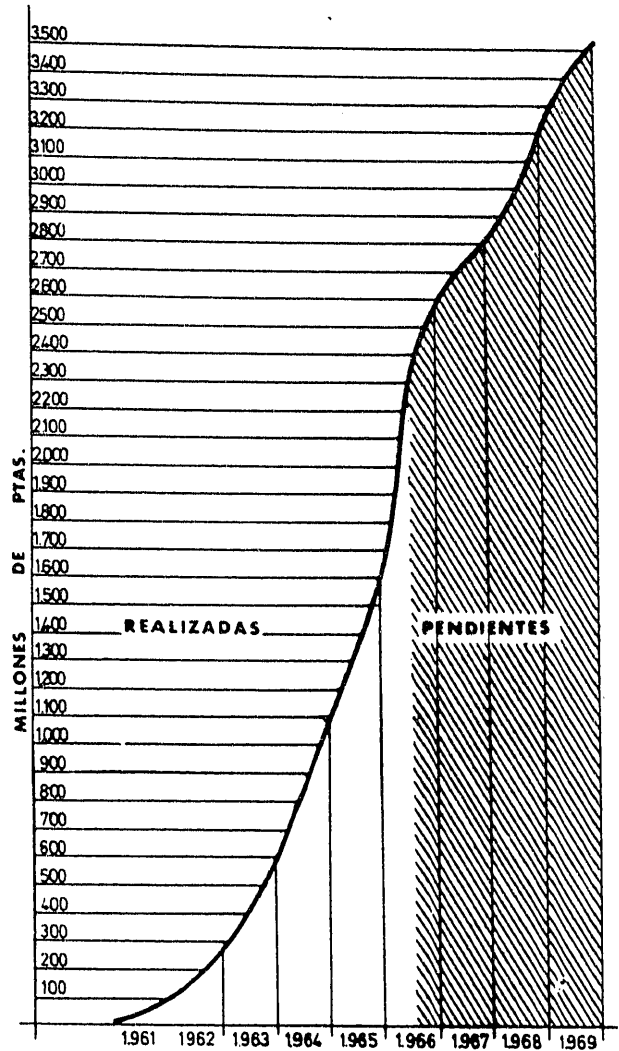
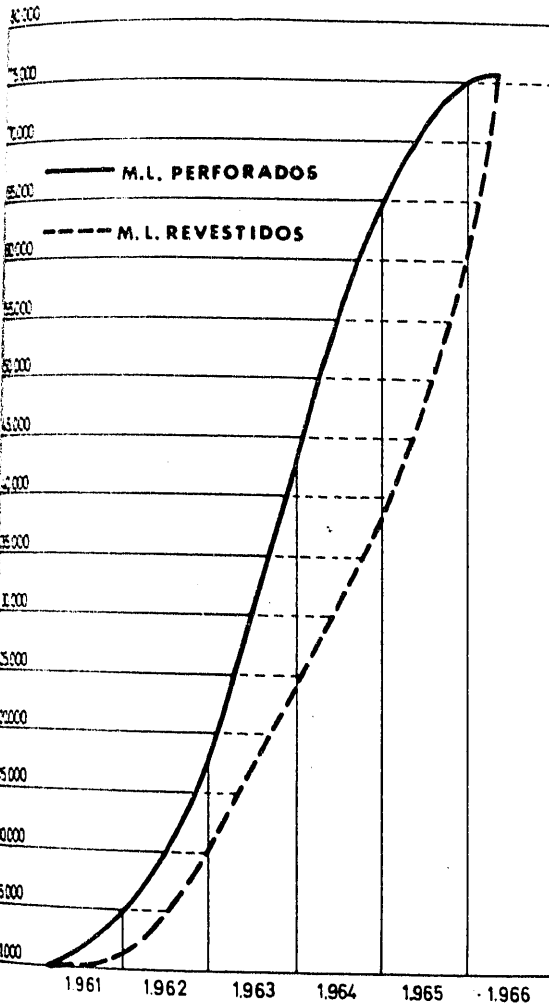


Fig. 31.—Gráfico de inversiones realizadas y previstas.

atravesados y las diversas unidades de revestimiento, ha resultado adecuado para una correcta realización de la obra.

El nivel de experiencia en las técnicas de construcción de túneles en el tiempo en que se iniciaron las obras y la coyuntura económica de estabilización, con que coincidió aquella iniciación, determinaron la adopción de sistemas de ejecución que podrían superarse en la actualidad.

Con gran entusiasmo y un elevado sentido de responsabilidad por parte de todos los que

Fig. 30.—Gráfico de producciones de perforación y revestimiento de los túneles de la conducción.

1960, las del tercero y cuarto en diciembre de 1960, y las del quinto y sexto en febrero de 1962.

Aunque especialmente en algunos tramos, las condiciones del terreno prestaron serias di-

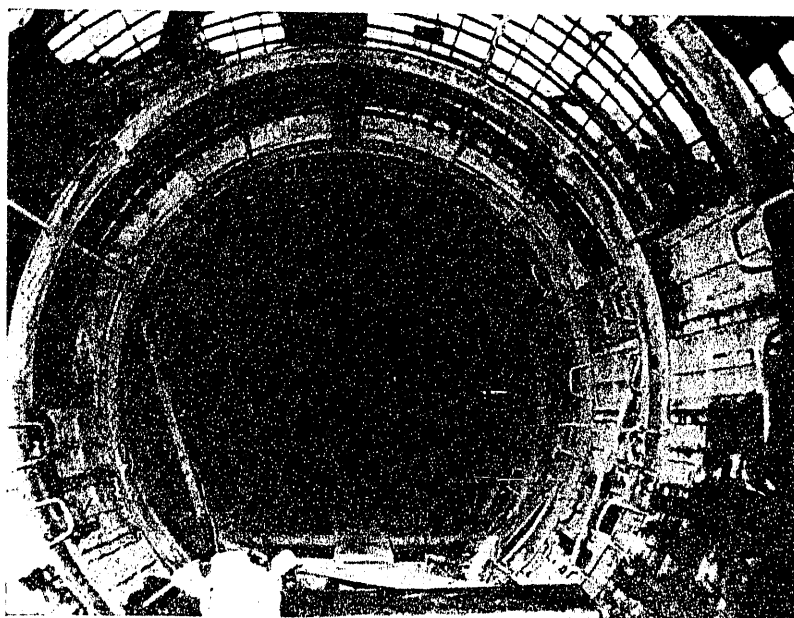


Fig. 32. — Encofrados de paños para el revestimiento de los túneles.

han intervenido en su realización, la conducción entre Pasteral y la planta de tratamiento, quedó ejecutada en el mes de junio próximo pasado, y la galería de presión entre la planta de tratamiento y el sifón del Besós a fines de julio siguiente.

En el adjunto gráfico se resumen las producciones alcanzadas en la perforación y revestimiento de los túneles, a lo largo de los cinco años y medio a que se ha extendido su ejecución. Las producciones mensuales máximas que se han conseguido, con continuidad, en perforación de terrenos de granito sano, han sido de 160 m. por frente y mes. En hormigón de revestimiento a túnel calado 400 ml./mes por frente. En hormigonado de solera, en túneles cuya excavación estaba ya efectuada a rasante, 900 a 1000 metros por frente y mes. Más de la mitad de la longitud de túneles ejecutados han tenido que realizarse simultaneando la perforación con el revestimiento porque las condiciones del terreno no permitían avanzar sin revestir, en unos casos por tratarse de terrenos coherentes y en otros de rocas muy alteradas. Las producciones conseguidas en terrenos coherentes de naturaleza favorable han oscilado entre 90 y 100 m. mensuales de túnel terminado, excepto solera. En los terrenos que han presentado dificultades, las producciones pueden cifrarse en unos 50 m./mes en caso de que las dificultades no hayan sido muy notables, redu-

ciéndose hasta sólo 15 m./mes en casos de dificultades excepcionales.

Para la ejecución de las obras de la Esta

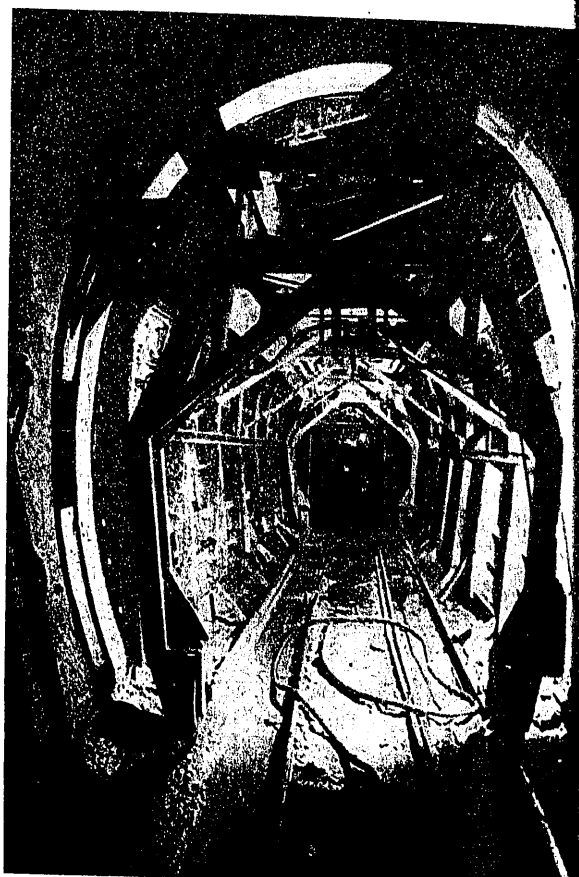


Fig. 33. — Encofrados telescópicos para revestimiento de túneles.

cio de Tratamiento, se recurrió al sistema de penetración del proyecto y construcción mediante un concurso de anteproyectos, en los que



Fig. 34.—Ensayos en los túneles para determinación de las características del terreno.

establecían los elementos fundamentales que se proponían para el tratamiento y los cuadros de precios unitarios para su ejecución. El Plie-

go de Condiciones del concurso determinaba los procesos de tratamiento que había de comprender la instalación, las capacidades de almacenamiento, preparación y dosificación de reactivos, los elementos de control y mando y su nivel de calidad, y las condiciones que había que cumplir el agua una vez tratada y después de la decantación, en un punto intermedio del proceso. Establecía, asimismo, dicho Pliego, los controles de funcionamiento a llevar a cabo durante el primer año de servicio y un sistema de sanciones y premios para aplicar a los precios de las distintas partes de la instalación, si sus respectivos rendimientos son inferiores o superiores a los contratados.

Se presentaron al concurso numerosas ofertas sobre la base de soluciones técnicas propuestas por firmas especializadas en tratamientos de aguas acreditadas en diversos países. Hecha la selección y establecido el proyecto definitivo por el contratista, en colaboración con la Dirección Técnica de la Junta, las obras se iniciaron en el año 1963. A fines de julio próximo pasado las instalaciones han permitido iniciar las pruebas para dar un suministro provisional de hasta 2 m.³/seg., previéndose para fines de año la posibilidad de tratar 4 m.³/seg. y para abril de 1967 la terminación de las obras.

El suministro de los mecanismos para la regulación de los caudales en la toma del Pasteral, el de los tamices de tambor y la construcción de los sifones de Arbucias y Besós, así como las obras urgentes en las instalaciones terminales de la Trinidad, se han contratado por el sistema de concurso de proyecto y construcción. De las obras de fábrica en la toma del Pasteral, es-



Fig. 35.—Instalaciones de extracción para la ejecución de pozos.

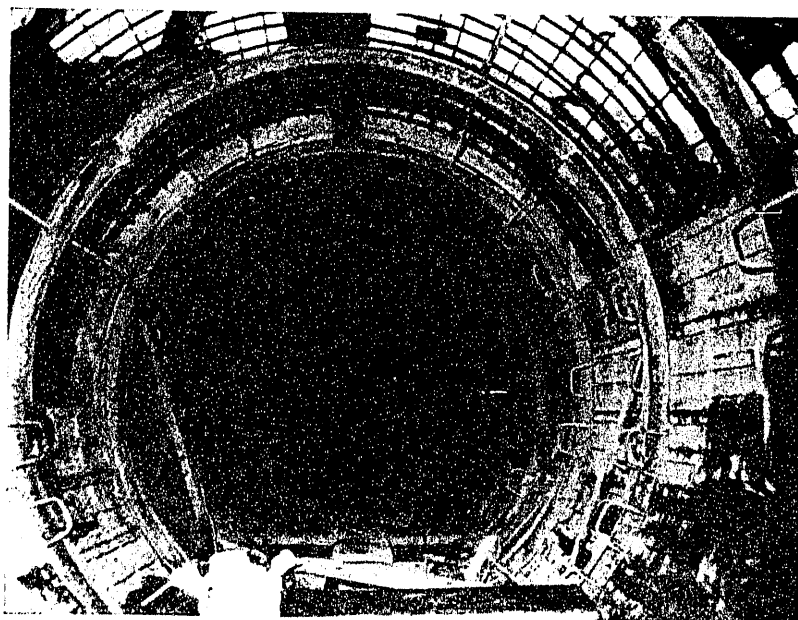


Fig. 32. — Encofrados de paños para el revestimiento de los túneles.

han intervenido en su realización, la conducción entre Pasteral y la planta de tratamiento, quedó ejecutada en el mes de junio próximo pasado, y la galería de presión entre la planta de tratamiento y el sifón del Besós a fines de julio siguiente.

En el adjunto gráfico se resumen las producciones alcanzadas en la perforación y revestimiento de los túneles, a lo largo de los cinco años y medio a que se ha extendido su ejecución. Las producciones mensuales máximas que se han conseguido, con continuidad, en perforación de terrenos de granito sano, han sido de 160 m. por frente y mes. En hormigón de revestimiento a túnel calado 400 ml./mes por frente. En hormigonado de solera, en túneles cuya excavación estaba ya efectuada a rasante, 900 a 1 000 metros por frente y mes. Más de la mitad de la longitud de túneles ejecutados han tenido que realizarse simultaneando la perforación con el revestimiento porque las condiciones del terreno no permitían avanzar sin revestir, en unos casos por tratarse de terrenos coherentes y en otros de rocas muy alteradas. Las producciones conseguidas en terrenos coherentes de naturaleza favorable han oscilado entre 90 y 100 m. mensuales de túnel terminado, excepto solera. En los terrenos que han presentado dificultades, las producciones pueden cifrarse en unos 50 m./mes en caso de que las dificultades no hayan sido muy notables, redu-

ciéndose hasta sólo 15 m./mes en casos de dificultades excepcionales.

Para la ejecución de las obras de la Esta-

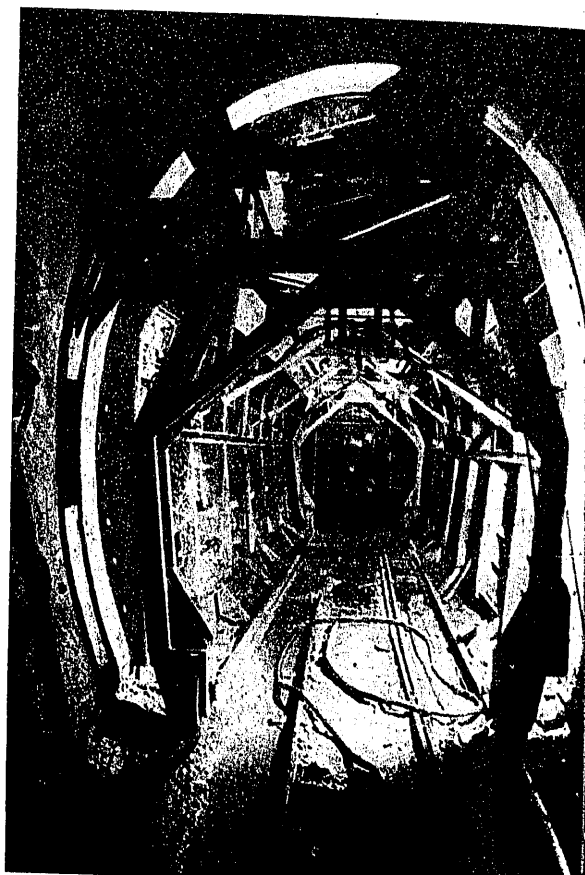


Fig. 33. — Encofrados telescópicos para revestimiento de túneles.

...cicio de Tratamiento, se recurrió al sistema de contratación del proyecto y construcción mediante un concurso de anteproyectos, en los que



Fig. 34.—Ensayos en los túneles para determinación de las características del terreno.

...establecían los elementos fundamentales que se proponían para el tratamiento y los cuadros de precios unitarios para su ejecución. El Pliego

de Condiciones del concurso determinaba los procesos de tratamiento que había de comprender la instalación, las capacidades de almacenamiento, preparación y dosificación de reactivos, los elementos de control y mando y su nivel de calidad, y las condiciones que había que cumplir el agua una vez tratada y después de la decantación, en un punto intermedio del proceso. Establecía, asimismo, dicho Pliego, los controles de funcionamiento a llevar a cabo durante el primer año de servicio y un sistema de sanciones y premios para aplicar a los precios de las distintas partes de la instalación, si sus respectivos rendimientos son inferiores o superiores a los contratados.

Se presentaron al concurso numerosas ofertas sobre la base de soluciones técnicas propuestas por firmas especializadas en tratamientos de aguas acreditadas en diversos países. Hecha la selección y establecido el proyecto definitivo por el contratista, en colaboración con la Dirección Técnica de la Junta, las obras se iniciaron en el año 1963. A fines de julio próximo pasado las instalaciones han permitido iniciar las pruebas para dar un suministro provisional de hasta 2 m.³/seg., previéndose para fines de año la posibilidad de tratar 4 m.³/seg. y para abril de 1967 la terminación de las obras.

El suministro de los mecanismos para la regulación de los caudales en la toma del Pasteral, el de los tamices de tambor y la construcción de los sifones de Arbucias y Besós, así como las obras urgentes en las instalaciones terminales de la Trinidad, se han contratado por el sistema de concurso de proyecto y construcción. De las obras de fábrica en la toma del Pasteral, es-



Fig. 35.—Instalaciones de extracción para la ejecución de pozos.

tudiadas posteriormente a la resolución del concurso de mecanismos de regulación y tamices, y las de los depósitos de agua filtrada, después de definir las características de la planta de tratamiento, se establecieron proyectos que fue-

de la Trinidad, cuyas características venían determinadas por la futura red de distribución a Barcelona, características que no quedaron establecidas hasta junio de 1965. Para que Barcelona pudiese disponer del agua del Ter e

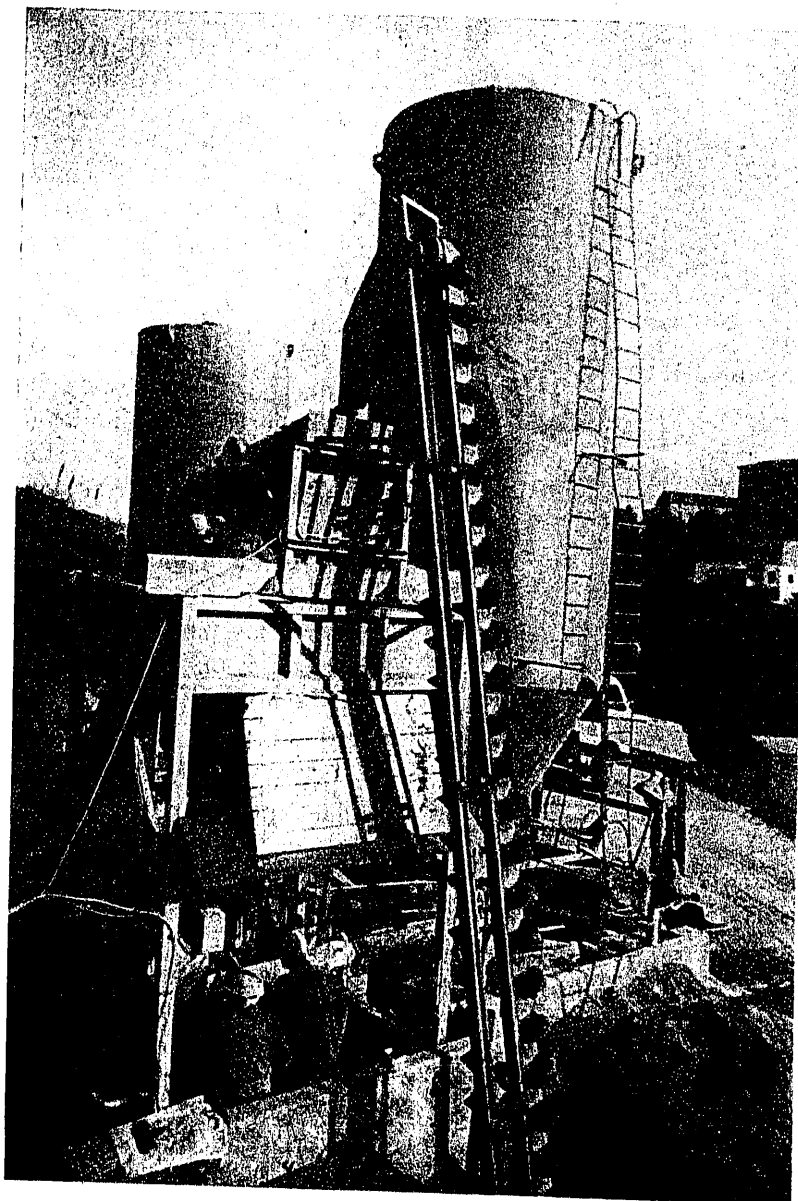


Fig. 36. — Instalaciones para preparación de mortero de inyección de los túneles.

ron base de contratación de las obras mediante concurso.

Todas estas obras se iniciaron en tiempo hábil para que su terminación pudiera culminarse al propio tiempo que las de conducción a Barcelona. Únicamente se han planteado con retraso las obras de las instalaciones terminales

verano de 1966, en octubre de 1965, el Gobierno encomendó a la Junta la ejecución de tre arterias de enlace con la distribución, incluida en el estudio de características de la futura red. Por ello, ha sido necesario llevar a cabo la ejecución de las citadas arterias y de las obras urgentes de los terminales de la Trinidad en e

cierto plazo del año 1966, programando la ejecución de estas obras de forma que puedan prestar servicio parcial desde finales del mes de julio.

El actual programa de obras de la Junta, con un plan de inversiones de 3 524 millones de pesetas, comprende, además de las expresadas obras en curso de ejecución, el suministro y

Boetticher y Navarro, S. A.
 Constructora Internacional, S. A.
 Cubiertas y Tejados, S. A.
 Fomento de Obras y Construcciones, S. A.
 Hidroeléctrica de Cataluña, S. A.
 Ingar, S. A.
 Jackson Suárez-Llanos (Luis).

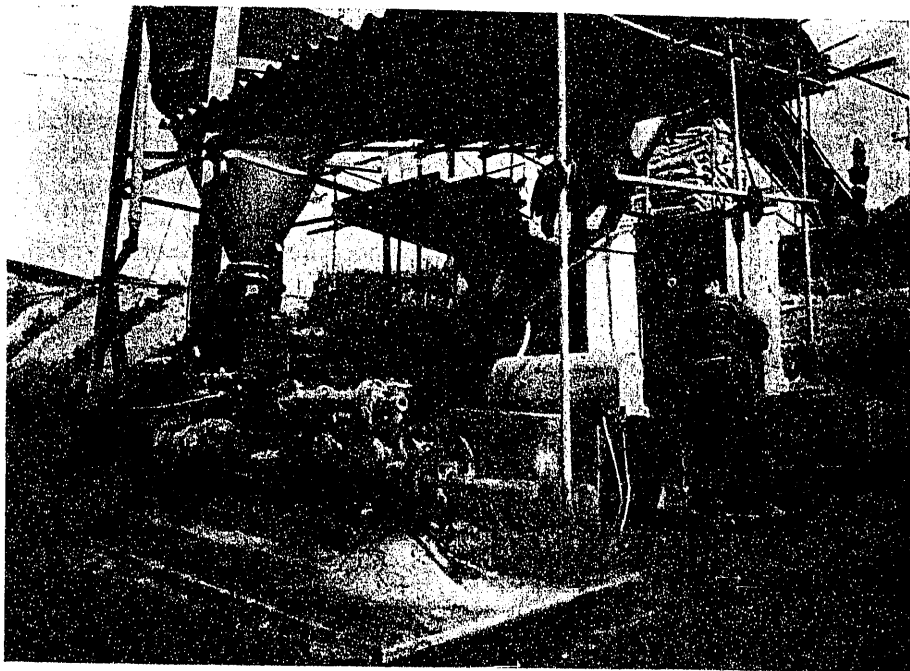


Fig. 37. — Instalaciones para inyección de mortero.

montaje de los mecanismos y maquinaria, y la construcción de depósitos de cabecera de distribución en los terminales de la Trinidad, instalaciones para abastecimiento de la zona de influencia y la prolongación de la conducción para alimentar otras instalaciones terminales en el interior de Barcelona.

Las inversiones realizadas hasta fin de junio de 1966 han importado unos 2 300 millones de pesetas, expresando en el gráfico de la figura 31 el ritmo a que se han llevado a cabo las inversiones y el que se prevé para completar el programa actualmente establecido.

Las empresas que han colaborado en la ejecución, en calidad de contratistas de las obras, han sido las siguientes:

Marpy Construcciones, S. A.
 Materiales y Tubos Bonna, S. A.
 Obras subterráneas, S. A.
 S. A. E. de Depuración de Aguas Degremont.
 Sociedad General de Aguas de Barcelona, S. A.
 Termac, S. A.
 Tierras y Hormigones, S. A.

Ha colaborado también, directamente, el Servicio Geológico de Obras Públicas y, a través de los contratistas, numerosas firmas nacionales y extranjeras y profesionales de diversas especialidades.