

ARTERIA DE UNION DEL CUARTO DEPOSITO (CHAMARTIN) CON LOS SEGUNDO Y TERCERO EDIFICIO-OFICINAS, GARCIA MORATO, QUE FORMA PARTE DE LAS INSTALACIONES DEL CANAL DE ISABEL II

Por EMILIO LOPEZ BERGES DE LOS SANTOS,
Ingeniero de Caminos.

Se trata de una descripción muy completa, con abundante documentación gráfica, de las importantes obras que se reseñan en el epígrafe. Por la extensión del trabajo, lo dividimos en dos artículos: el presente, que comprende la reseña de las principales características del proyecto, y otro próximo, en que se presentará el cálculo de las tuberías y las conclusiones.

Objeto y antecedentes del proyecto.

El objeto de este proyecto, cuyas obras han sido inauguradas en su casi totalidad por el excelentísimo Sr. Ministro de Obras Públicas en fecha reciente, es transvasar las aguas del Cuarto Depósito, situado en Chamartín, procedentes del Nuevo Canal, a los Depósitos Segundo y Tercero, ubicados en las calles de García Morato y Bravo Murillo, que actualmente están abastecidos por el Canal denominado "Antiguo" y que llega a Madrid con una altura de 34,5 metros, inferior al mencionado Nuevo Canal. Asimismo, la obra de que tratamos, alimentará a las actuales arterias de agua elevada.

Se consigue con esta instalación:

Suprimir el actual suministro de agua elevada, efectuándose con agua rodada, en mayor volumen, permitiendo unir la distribución de agua rodada con presiones deficientes a la red actual de la elevada.

Aumentar las presiones en toda la red de distribución de la mencionada zona de agua elevada, que es la comprendida entre las cotas 660 y 690 m.

Alimentar los Depósitos Segundo y Tercero, que reciben el agua del Canal Antiguo, por el Canal Nuevo en caso de avería, haciendo posible el proceder a las reparaciones en gran escala de la solera del Canal Antiguo.

Ahorro de energía eléctrica, que se podrá utilizar en la elevación al Segundo Depósito elevado, cuyas instalaciones están próximas a entrar en servicio, suprimiéndose las inyecciones directas de agua a presión en las tuberías.

La alimentación de la red de agua elevada se hacía, hasta ahora, mediante grupos de electrobombas, regulándose la presión obtenida con el Primer Depósito elevado (construido en las inmediaciones del edificio-oficinas en García Morato).

Con la nueva obra, como la presión que obtenemos con agua rodada es superior en 8 m. (por término medio) a la obtenida por las bombas de que hemos hablado, queda fuera de servicio el Primer Depósito elevado, no siendo necesarias las maniobras de elevación, con su consiguiente economía de energía.

Por último, queremos recalcar que, dado que la presión piezométrica que obtenemos en la actualidad en el origen es la correspondiente al nivel del agua en el Cuarto Depósito, toda la presión en los distintos puntos de la red aumentará en los 8 m. antes mencionados.

El proyecto consta de cuatro grupos de obras: El primero, denominado *Galerías y Alcantarillas*, iniciado antes de la Guerra de Liberación, fué ultimado en marzo de 1943, comprendiendo este grupo de obras fundamentalmente la denominada *Galería principal*, la *Galería de alimentación al partididor de aguas* y la *Alcantarilla de desagüe*.

En cuanto al segundo y tercer grupo de obras, constituidos por *las tuberías y piezas especiales* alojadas en las mencionadas galerías, se proyectaron y construyeron de hormigón armado, centrifugado y vibrado, con camisa de chapa de palastro intermedia, en sustitución de las totalmente de chapa del proyecto primitivo.

Redactado el proyecto reformado en junio de 1947, fué aprobado por O. M. de 31 de marzo de 1948, por su presupuesto de ejecución material de 18 186 046,55 pesetas, al que corresponde el de contrata, de 21 921 966,63 pesetas, adjudicándose en 20 de diciembre de 1948 una sola de las tuberías de 1 400, y el resto de las obras proyectadas en pesetas 11 739 073,35, con una baja de 0,1 %. El primer adicional de revisión de precios importó 798 086,90

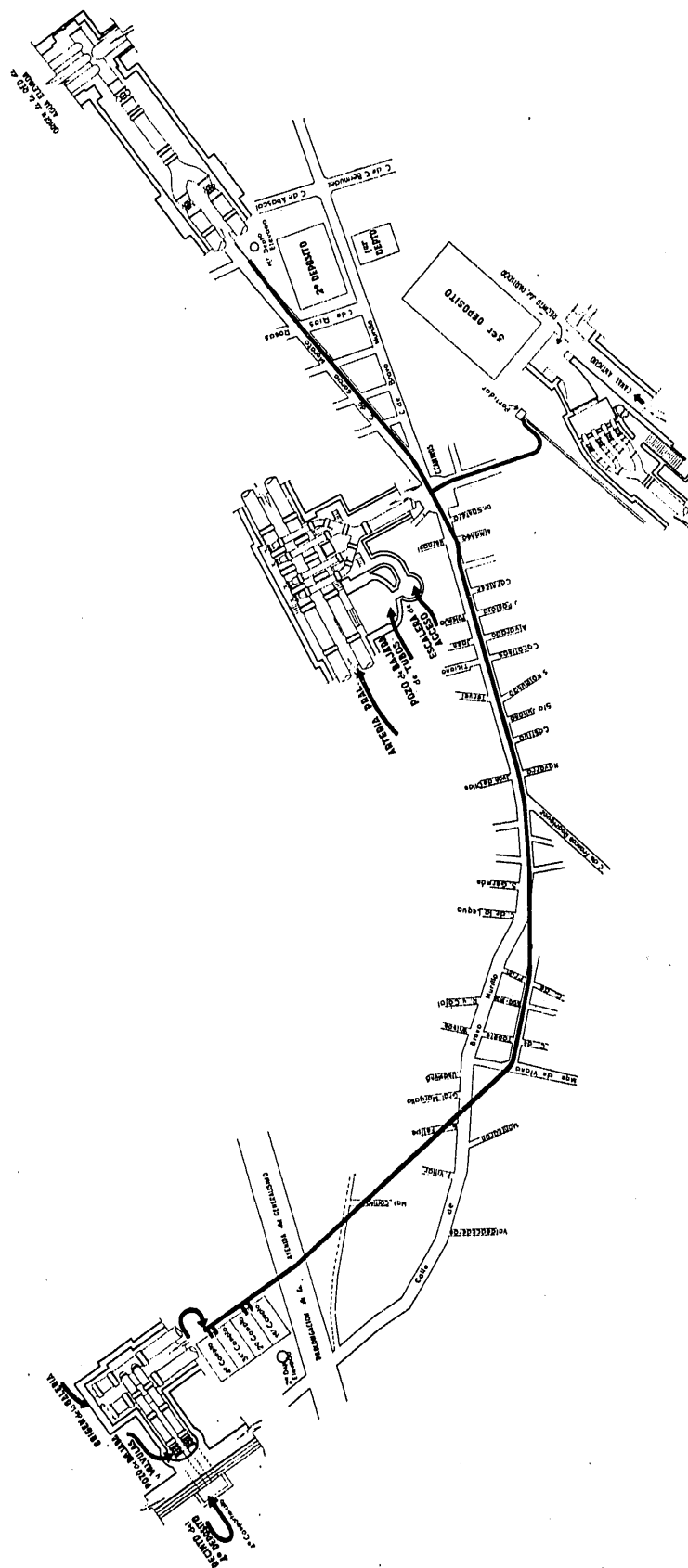


Fig. 1.ª — Planta general.

pesetas, y el segundo, 4 325 073,57, resultando un presupuesto total de 16 873 984,64 pesetas.

Como ya hemos dicho, inaugurada recientemente la tubería de 1 400 que comunica el Cuarto Depósito con la red de agua elevada de Madrid, queda únicamente por ultimar la arqueta terminal de la galería para la tubería de 1 080 mm., según veremos más adelante

La galería principal, capaz de alojar dos tuberías de 1.400 mm., tiene su origen en el Cuarto Depósito, ubicado en Chamartín de la Rosa, en el lugar denominado "Hotel del Negro", discurriendo su traza, en su primer tramo, paralelamente al lado Sur de aquel Depósito. Sigue atravesando una zona edificada, desde el cruce de la carretera de Maudes hasta la calle del Marqués de Viana, con una sola alineación

recta de 800 m. y a una profundidad media de 24 m.; a partir de este punto va sensiblemente por el eje de la calle de Serrano — Chamartín de la Rosa —, saliendo a la de Bravo Murillo, por la acera de la izquierda, hasta la Glorieta de Cuatro Caminos, punto más bajo del trazado, continuando por Santa Engracia, también bajo la acera de la izquierda, hasta el empalme con los colectores de aguas elevadas, siendo su longitud total de 3 669,33 m.

La galería de alimentación al partidor de aguas tiene una longitud de 430 m., uniendo la galería principal descrita con las instalaciones de aquél, y, por último, la llamada *alcantarilla núm. 3 o de desagüe*, asegura el total de las dos galerías.

Las características fundamentales de las tres galerías citadas son las siguientes:

	Galería principal	Galería del partidor	Alcantarilla de desagüe
Altura.....	4,35 m.	2,40 m.	1,95 m.
Ancho.....	5,60 »	3,10 »	1,45 »
Espesor en clave	0,50 »	0,30 »	0,30 »
» en arranques	0,60 »	0,35 »	0,35 »
» en solera	0,40 »	0,25 »	0,20 »
Superficie de excavación	29,82 m. ²	9,35 m. ²	4,59 m. ²
» de hormigón	9,51 »	3,17 »	2,16 »
Volumen de excavación	116 122,144 m. ³	6 111,506 m. ³	14 237,047 m. ³
» de hormigón	33.266,737 »	1 465,050 »	5.829,426 »
Superficie de enlucidos	—	—	16 955,73 m. ²

Para la bajada de tuberías y sus accesorios, hasta la rasante de la galería principal, se han construido cuatro registros, instalados: en el Cuarto Depósito, en el cruce de la galería con la calle del Marqués de Viana (Chamartín de la Rosa), en Cuatro Caminos y, el último, en la calle de Joaquín García Morato, junto al Primer Depósito elevado de aguas.

También en la galería del partidor se ha dejado un pozo-registro en la Avenida de la Reina Victoria, esquina a los terrenos propiedad del Canal de Isabel II.

Tanto al principio como al final de la galería se han construido las correspondientes cámaras para poder instalar las válvulas automáticas, de que hablaremos en otro apartado del artículo.

El presupuesto de contrata de este primer grupo de obras es de 9 151 324,83 pesetas, cantidad a la que, aplicada la baja de subasta, resultó un importe líquido de 8 739 274,63 pesetas.

SEGUNDO, TERCERO Y CUARTO GRUPOS DE OBRAS.

Como ya dijimos, estos grupos se corresponden con la instalación de las tuberías y sus accesorios, como válvulas, ventosas, desagües, etc.

Las características fundamentales de las tuberías son las siguientes:

Tubería de 1 400 mm.:

Longitud total	3 669,000 m.
Diámetro interior	1,400 »
» exterior	1,590 »
Caudal máximo de agua que puede circular por la tubería.....	3,25 m. ³ /seg.
Velocidad	2,11 m./seg.
Presiones disponibles al final de la tubería:	
Máxima	26,401 m.
Mínima	20,451 »
Carga máxima en el punto más bajo (Cuatro Caminos)	35,773 »

Tubería de 1 080 mm.:

Longitud total	430,000 m.
Diámetro interior	1,080 »
» exterior	1,270 »
Caudal máximo	4,500 m. ³ /seg.
Velocidad	4,89 m./seg.

La tubería termina en una arqueta de rotura de carga y de empalme con el partidor propiamente dicho, bifurcándose en otras cuatro tuberías de 500 milímetros de diámetro interior, análogamente al dispositivo descrito de la toma, provistos, a su vez, de otras cuatro válvulas de 500 mm.

Se han instalado dos tipos de válvulas automáticas de 1 000 mm. de diámetro: una, en el origen de la arteria, de 2 atmósferas de presión, accionamiento eléctrico, indicador de distancia y dispositivo de cie-

tomas, injertos, etc.), procurando dar la mayor facilidad a la circulación de los filetes líquidos, con objeto de evitar las pérdidas de carga por choque, remolinos y cambios bruscos de sección, dando por resultado una solución más racional, incluso desde el punto de vista estético.

Se han instalado: una ventosa en el origen de la tubería, en las proximidades del Hotel del Negro; otras dos en cada tubo de 1 400 mm., al final, en las proximidades del edificio-oficinas, y cuatro en cada

TUBO de 1.400^{m/m} ϕ INTERIOR

PRESION en SERVICIO 4,5 Kgs./cm²

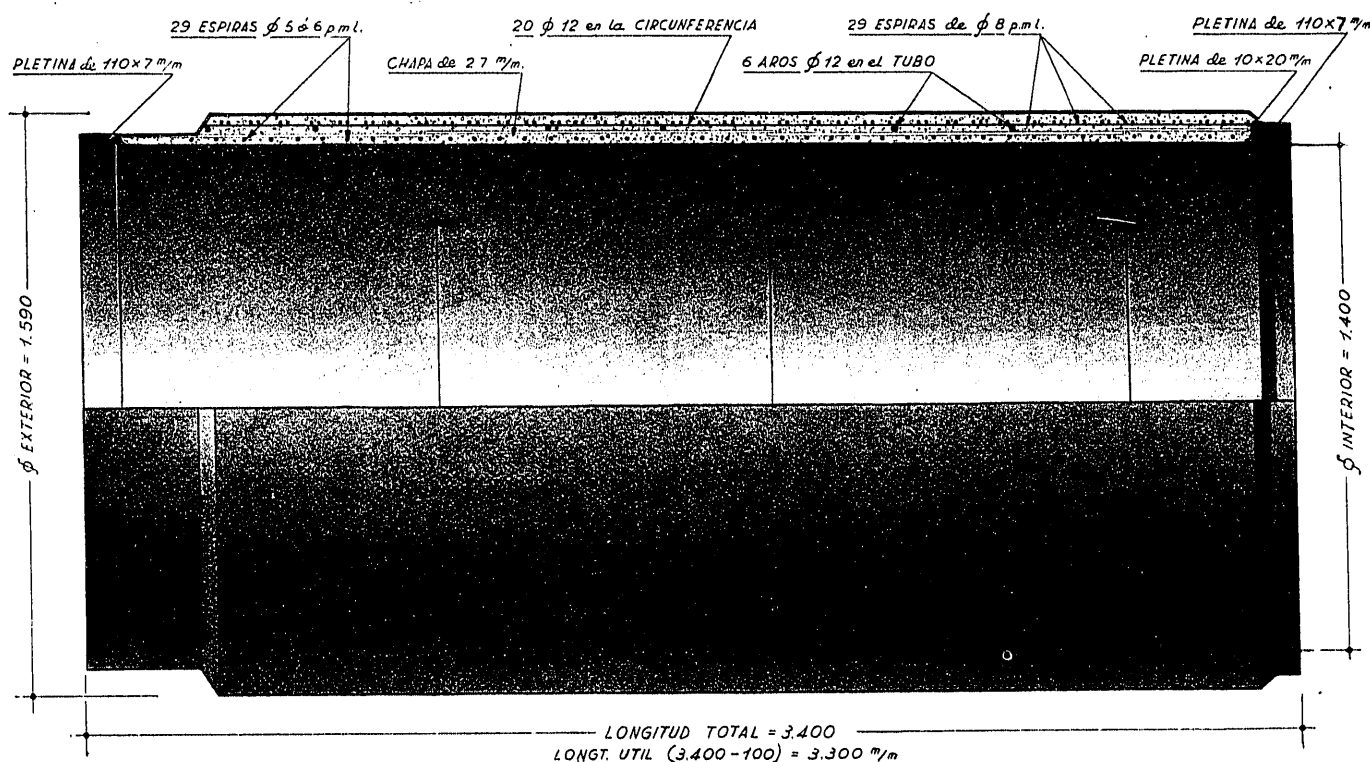


Fig. 3.^a — Detalle de un tubo de 1 400 mm.

re por aumento de velocidad, y otra, al final, antes del empalme de la arteria con la red de agua elevada, de 6 atmósferas de presión, de accionamiento eléctrico, indicador a distancia y funcionamiento de cierre por disminución de presión.

Codos y curvas de las tuberías y piezas especiales. Teniendo en cuenta que los radios de la galería son todos de 50 m., no hacen falta piezas especiales para las curvas, puesto que su holgura permite la inscripción de las tuberías en curvas del radio citado.

Dada la moldeabilidad del material especial empleado en la construcción de las tuberías, se han proyectado las diferentes piezas especiales (uniones,

una de las tomas del correspondiente compartimiento del Cuarto Depósito, antes de llegar a las piezas curvas que injertan con la mencionada tubería de 1 400.

Dada la constancia de temperatura en el interior de la galería, no ha sido necesaria la instalación de juntas de dilatación, puesto que la cota media de profundidad de la solera de la misma es de 20 m.

Los apoyos, de hormigón en masa, puede decirse que son continuos, dejando únicamente el hueco necesario para la junta de los tubos.

Coincidiendo con el punto bajo de la tubería, se ha instalado un desagüe, consistente en un tubo de 200 mm. de diámetro, para la de 1 400. y otro de 100, para la de 1 080, desagües que van a parar a

la denominada alcantarilla núm. 3, que con una longitud de 3141 m., vierte en el río Manzanares, con una sección capaz de poder llevar por ellos, dada su pendiente y dimensiones, todo el caudal que, en caso de rotura, pueda circular en ese momento por las tuberías de 1400. Como nota curiosa, diremos que por esta alcantarilla de desagüe entraban los mili-

agua elevada, se ha dispuesto una válvula de maniobra a mano, de 1000 mm. de diámetro interior, que no estaba prevista en el proyecto y cuyo objeto es aislar por completo la citada tubería de agua elevada de la conducción de unión entre depósitos.

Al final de la tubería de 1080 se prevé una cámara que alojará la bifurcación de la tubería de

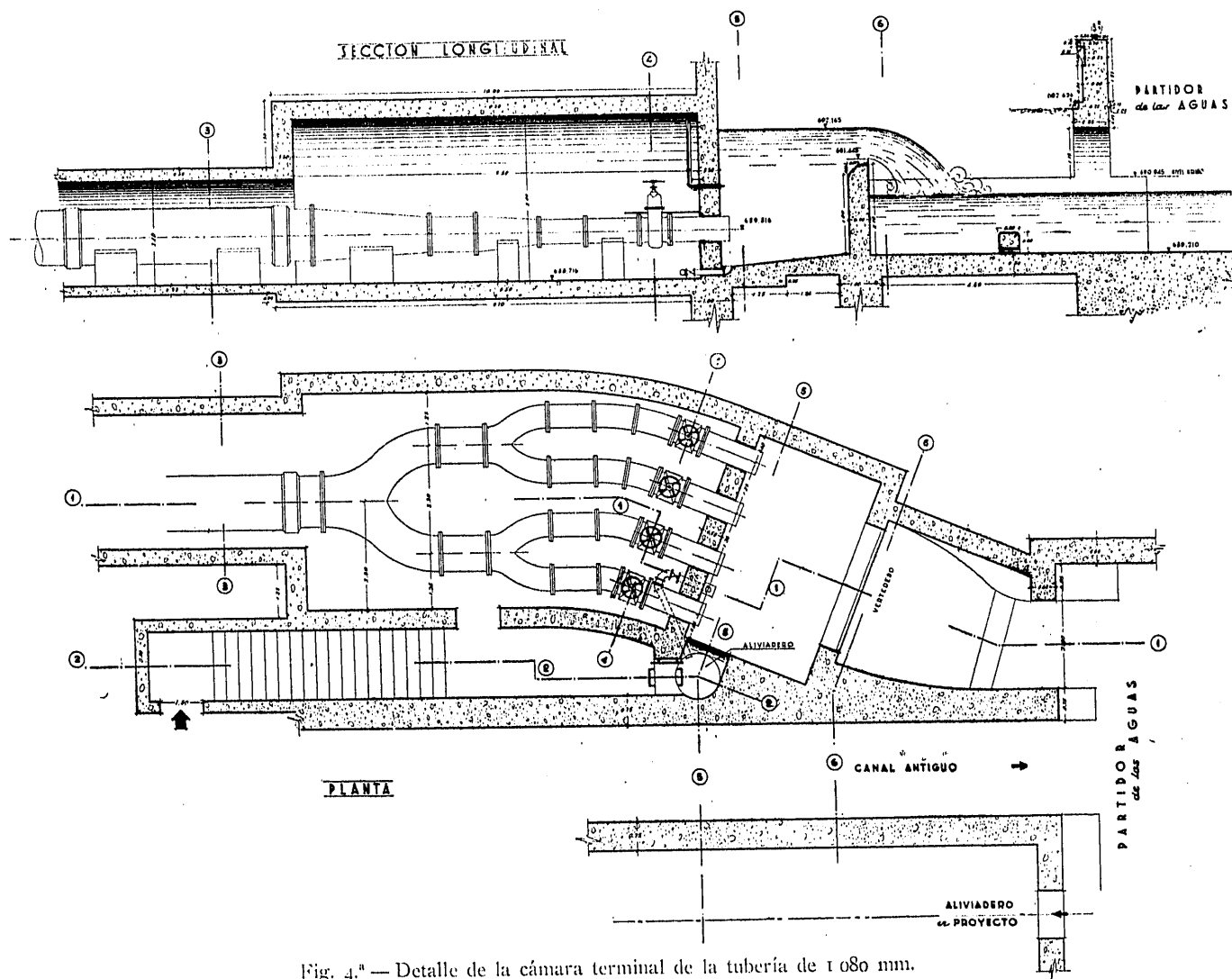


Fig. 4.^a — Detalle de la cámara terminal de la tubería de 1080 mm.

cianos rojos para ocupar sus posiciones en la Ciudad Universitaria durante la Guerra de Liberación.

En las curvas y como precaución, con objeto de evitar un empuje peligroso producido por los filetes líquidos al discurrir por aquéllas, se han dispuesto una serie de zunchos, consistentes en redondos de 20 mm. Las galerías quedarán completamente aisladas del exterior mediante rejas, con objeto de preservar las costosas instalaciones descritas y, sobre todo, las válvulas automáticas.

En la unión de las tuberías de 1400 con las de

1080 en dos de 800, que a su vez se bifurcan en cuatro de 500, según ya dijimos con anterioridad, y la cámara de rotura de carga con su aliviadero correspondiente, provista de un desagüe con sección suficiente, que va a parar a una alcantarilla del Ayuntamiento de Madrid. También se proyecta un registro con su escala correspondiente para la lectura de los distintos niveles de agua y desagüe de fondo de la cámara mencionada de rotura de carga.

Por último, se iluminará con energía eléctrica toda la galería.

Marcha de los trabajos.

La construcción de los tubos, iniciada al mismo tiempo que la de los apoyos de hormigón en masa sobre la solera de la galería, tuvo lugar en las fábricas de Cornellá de Llobregat (Barcelona) y Sevilla, pertenecientes a las Empresas adjudicatarias de las obras, especializadas en aquel tipo de elementos. En ambas se empezaba la fabricación de las tuberías rectas y sus piezas especiales correspondientes, montando la camisa intermedia de palastro soldada eléctricamente, y una vez colocadas las armaduras respectivas, se hornigonaba y vibraba la capa exterior y se hornigonaba y centrifugaba la interior, diferenciándose el procedimiento empleado en cada una de las fábricas mencionadas únicamente en el orden de realizar estas operaciones y en la posición en que era colocado el tubo para proceder a ellas (horizontal y vertical).

Una vez transcurrido el plazo suficiente de curado, se transportaban los tubos a pie de obra, donde se colocaban sobre los apoyos, y efectuada la delicada operación de nivelación y alineación de los mismos, se procedía a la construcción de las juntas correspondientes y sus manguitos o cubrejuntas protectoras de hormigón armado.

Se realizaron pruebas antes de ser colocados los tubos en obra, en las fábricas de origen, con el siguiente resultado:

Prueba a la flexión transversal — Se llegó hasta una carga de 8 500 Kg./m. l. de generatriz, produciéndose una deformación tal, que la diferencia entre los diámetros vertical y horizontal era de 155 mm., sin que se produjera la rotura, y recuperando aproximadamente la mitad de la deformación al ser descargado el tubo.

Prueba a la presión interna. — Siendo 4,4 atmós-

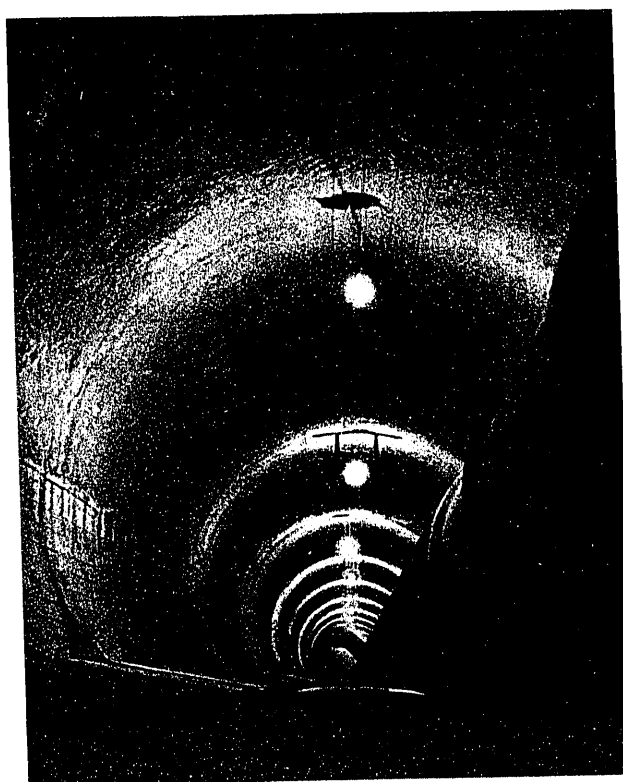


Fig. 5.^a — Tramo recto de galería para alojar tubería de 1 400 mm.

feras la presión de servicio, se sometió el tubo a una presión del doble de aquélla (8,8 atm.), sin observarse novedad alguna. A la presión 13,4 atm., aparecieron las primeras grietas longitudinales. A la de 14 atm., se produjo la rotura del tubo.

Por último, y para completar este artículo, vamos a hacer un resumen de la hipótesis supuesta para la determinación de las pérdidas de carga y del cálculo de la tubería.

CAUDALES CONSIDERADOS

Año	AGUA ELEVADA		Año	AGUA RODADA	
	Mes	Consumo m. ³ mes		Mes	Consumo m. ³ mes
1939	Julio	3 053 350	1939	Julio	4 780 000
1940	Agosto	3 311 000	1940	Julio	4 879 400
1941	Agosto	3 497 800	1941	Agosto	5 241 300
1942	Junio	3 268 000	1942	Agosto	7 710 000
			1943	Agosto	8 716 000
			1944	Agosto	8 465 000
			1945	Mayo	7 936 000
	TOTAL.....	13 130 150		TOTAL.....	47 727 700
	Media mensual.....	$\frac{13\ 130\ 150}{4} = 3\ 282\ 587\ m.^3;$			$\frac{47\ 727\ 700}{7} = 6\ 818\ 243\ m.^3.$
	Media diaria.....	$\frac{3\ 282\ 587}{30} = 109\ 418\ m.^3;$			$\frac{6\ 818\ 243}{30} = 227\ 275\ m.^3.$

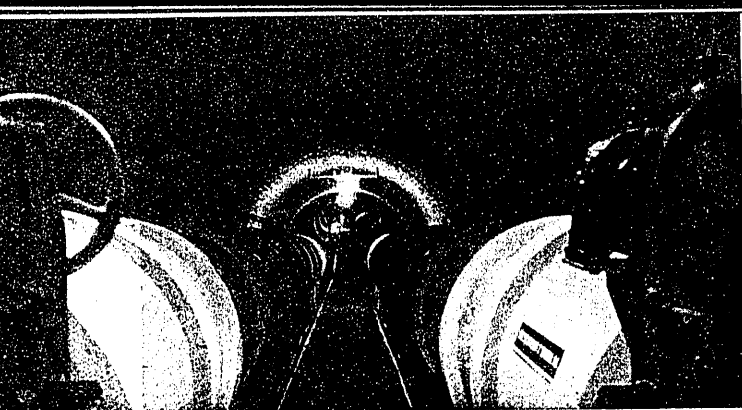


Fig. 6.ª — Detalle de las válvulas automáticas con funcionamiento por disminución de presión.

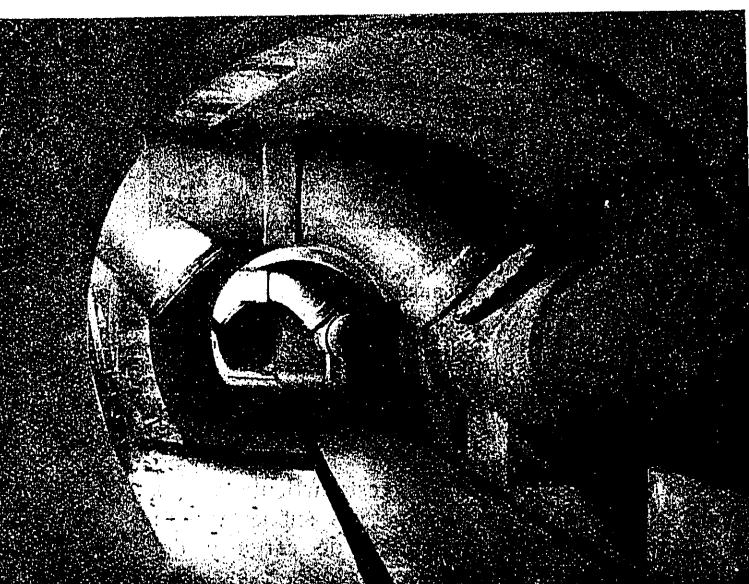
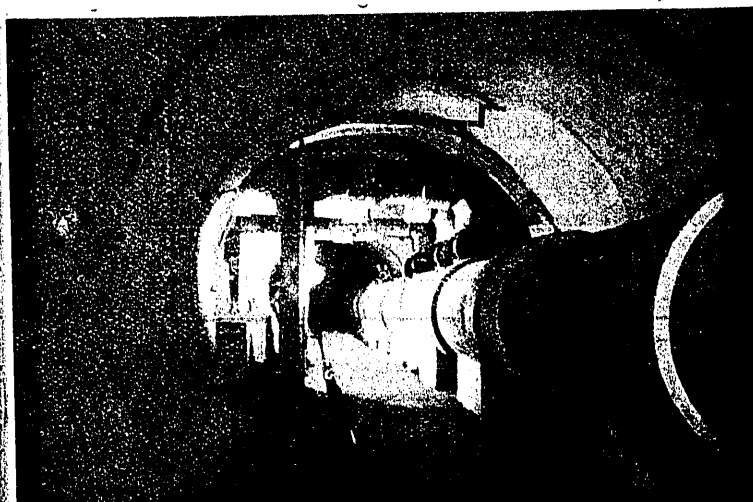


Fig. 7.ª — Tomas de origen en el Cuarto Depósito.

Fig. 8.ª — Empalme con la tubería de 1080 mm., en Cuatro Caminos.



Por tanto, como se aprecia en el cuadro anterior, el caudal medio mensual obtenido de las máximas mensuales, entre los años 1939 al 1942, del agua elevada o caudal alto (a partir de este año se puso en servicio la tubería de Alonso Cano y la de la arteria del Norte), fué de 3 282 587 m.³, siendo la media diaria de 109 418.

Según los datos obtenidos de la Central elevadora, hay cuatro horas diarias de consumo máximo y cuatro horas de consumo mínimo, siendo este último 2,5 veces menor que el primero; luego si llamamos 1 la cantidad consumida en período mínimo, tendremos:

Cantidad consumida en el período de mínimo	$4 \times 1 = 4$
Cantidad consumida en el período de máximo	$4 \times 2,5 = 10$
Cantidad consumida en el período intermedio (suponiendo que el valor sea 1,5)	$16 \times 1,5 = 24$
	38

de donde, *cantidad de agua elevada consumida en el período máximo*:

$$\frac{109\,418 \times 10}{38} = 28\,794 \text{ m.}^3;$$

lo que representa un caudal por hora de:

$$\frac{28\,794}{4} = 7\,400 \text{ m.}^3;$$

por tanto:

$$\frac{7\,400}{3\,600} = 2 \text{ m.}^3/\text{seg.}$$

De un modo análogo, el caudal medio mensual obtenido de las máximas mensuales entre los años 1939 a 1945, de agua rodada o caudal bajo, fué de 6 618 243 m.³, siendo la media diaria de 227 275.

La cantidad de agua consumida en el período de máxima fué de:

$$\frac{227\,275 \times 10}{38} = 59\,809 \text{ m.}^3.$$

El caudal por hora:

$$\frac{59\,809}{4} = 14\,952 \text{ m.}^3;$$

o sea:

$$\frac{14\,952}{3\,600} = 4,15 \text{ m.}^3/\text{seg.}$$

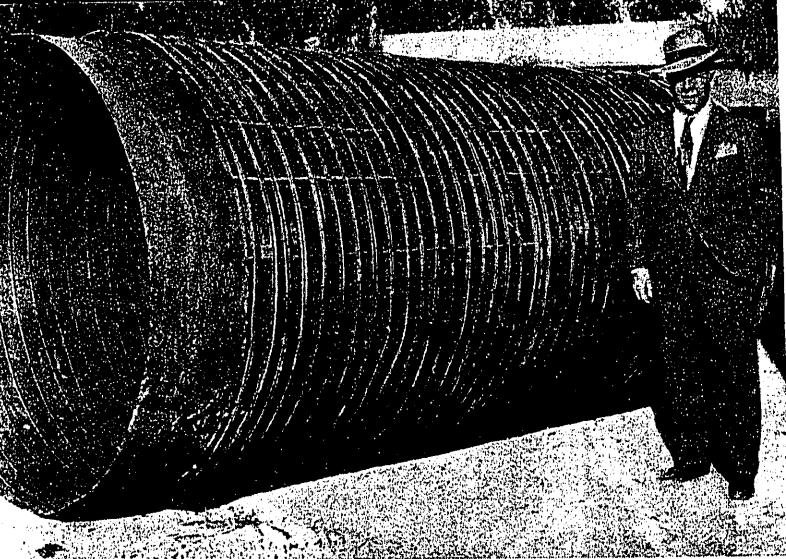


Fig. 9.ª — Camisa de chapa y armadura de un tubo de 1.400 mm.

Luego el caudal total máximo que debe circular por las dos tuberías de 1.40 m. será de:

$$2 + 4,15 = 6,15 \text{ m.}^3/\text{seg.}$$

Hemos tomado, redondeando:

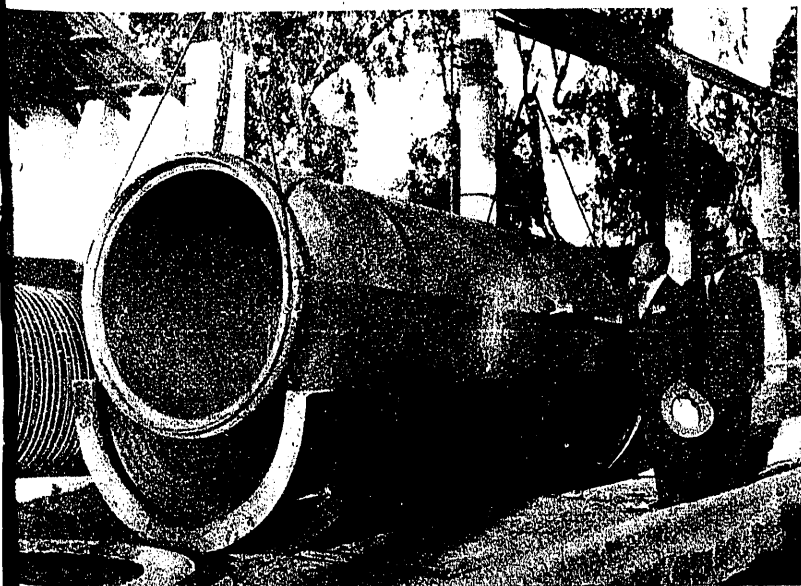
$$6,50 \text{ m.}^3/\text{seg.}$$

El caudal total máximo que debe discurrir por la tubería de 1.080 mm., será el caudal máximo correspondiente al agua rodada o caudal bajo, que hemos visto era 4,15 m.³/seg.

Se ha tomado:

$$4,50 \text{ m.}^3/\text{seg.}$$

Fig. 11. — Desencofrado de un tubo.



Determinación de las pérdidas de carga de las tuberías.

Se han tenido en cuenta las siguientes pérdidas de carga:

- A) Pérdida de carga a la entrada.
- B) Pérdida de carga debida al rozamiento a lo largo de la tubería.
- C) Pérdida de carga en las curvas y codos.
- D) Pérdidas de carga en los cambios de sección.

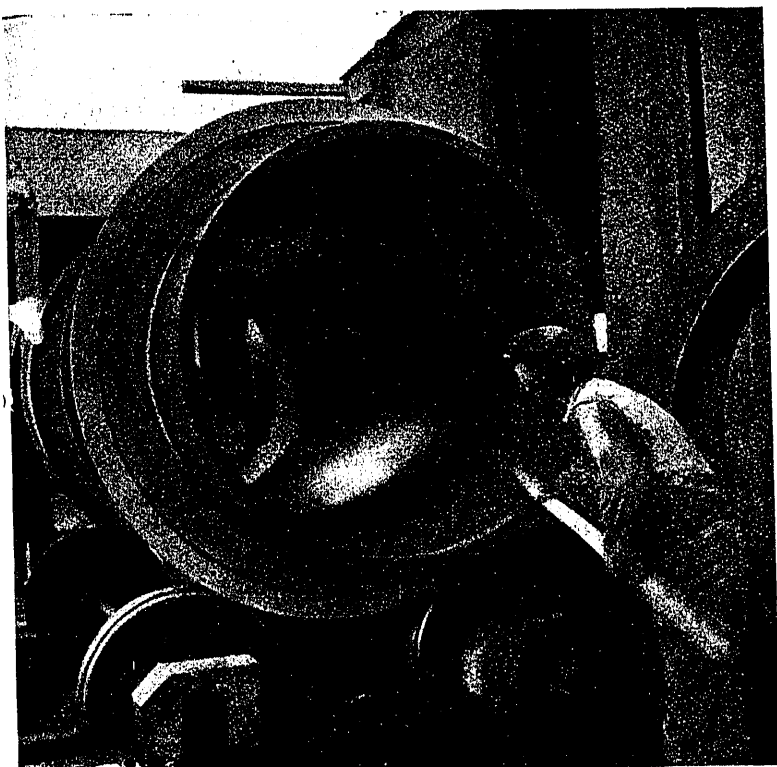


Fig. 10. — Centrifugado de un tubo.

Considerando todas las pérdidas de carga por las diferentes causas mencionadas, resulta:

Tubería de 1.400 mm.:

$$\text{Caudal} = Q = \frac{6,50}{2} = 3,250 \text{ m.}^3/\text{seg. por tubería.}$$

$$\text{Velocidad} = V = \frac{6,50}{\frac{2 \times 1,400^2}{4}} = 3,11 \text{ m./seg.}$$

$$\text{Radio hidráulico} = R = \frac{\pi r^2}{2 \pi r} = \frac{r}{2} = \frac{1,4}{4} = 0,35 \text{ m.}$$

Pérdida de carga a la entrada	0,240 m.
Pérdida de carga por rozamiento a lo largo de la tubería	8,800 »
Pérdida de carga por codos y curvas ..	0,943 »
Pérdida de carga por estrechamiento de la sección	0,116 »
TOTAL.....	10,099 m.

Ahora bien: teniendo en cuenta que la cota mínima del nivel del agua en el Cuarto Depósito, supuesta, es 721,05 m., la máxima, 727,00; la cota en el eje de la tubería de 1,400 mm., en el origen, 718,825 m., y en el final, 690,500 resulta, en el caso más desfavorable, suponiendo el Cuarto Depósito con la cota de agua mínima ya mencionada, al final de la tubería, una presión disponible de:

$$721,05 - (690,50 + 10,099) = \mathbf{20,451 \text{ m.}}$$

de la que, aunque restemos las pérdidas de carga debidas a llaves, bifurcaciones, etc., quedará una presión mínima de 20 m. aproximadamente y máxima de

$$727 - 700,599 = 26,401 \text{ m.,}$$

o sea 26 m. (incluyendo pérdidas por llaves, etc.), es decir, que la altura máxima a que podrá llegar el nivel de agua, suponiendo que circulará el caudal máximo de 6,50 m.³ en las dos tuberías, será de:

$$690,50 + 26 = \mathbf{716,50 \text{ m.}}$$

Fig. 12. — Dos piezas especiales terminadas.

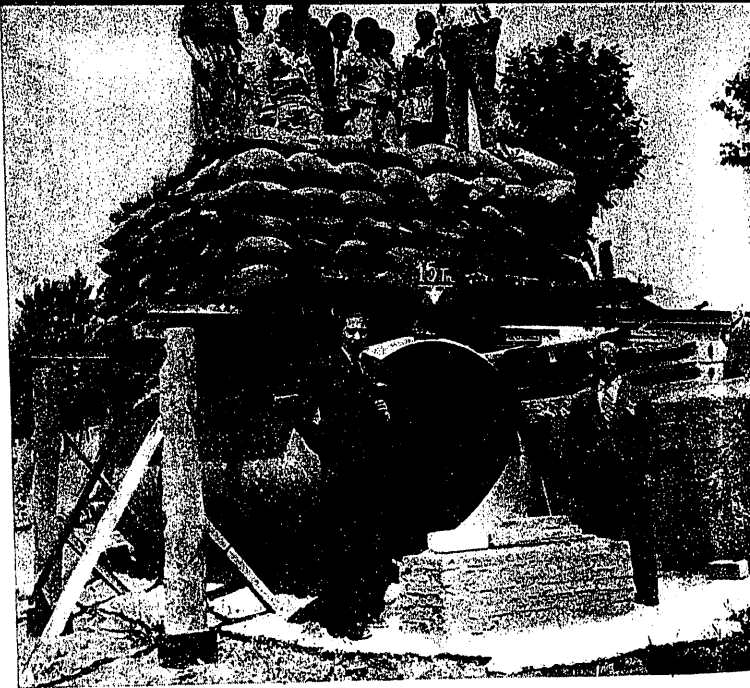
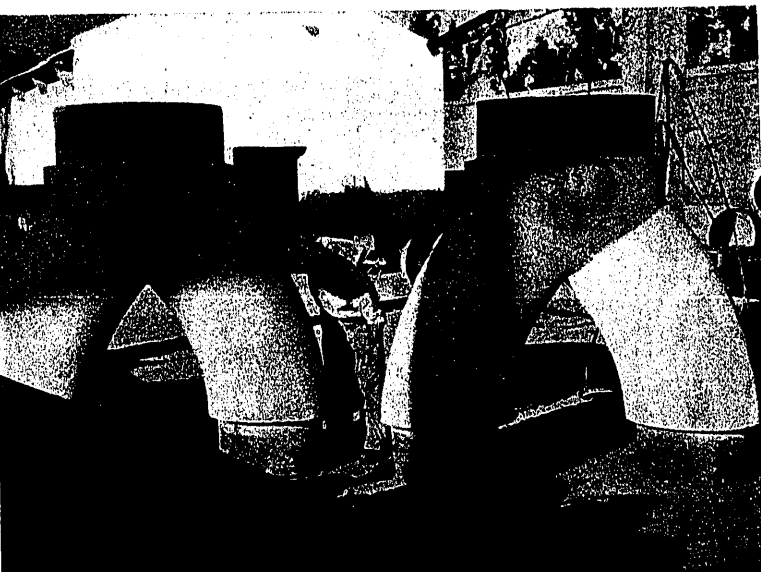


Fig. 13. — Pruebas a la flexión transversal.

Tubería de 1,080 m.:

De un modo análogo:

$$Q = 4,50 \text{ m.}^3/\text{seg.} \gg V = \frac{4,50}{\frac{\pi \times 1,080^2}{4}} = 4,89 \text{ m./seg.}$$

$$R = \frac{1,08}{4} = 0,27 \text{ m.}$$

Pérdida de carga a la entrada.....	1,294 m.
Pérdida de carga por rozamiento.....	6,700 »
Pérdida de carga por codos y curvas.....	0,969 »

PÉRDIDA DE CARGA TOTAL	8,963 m.
-------------------------------------	-----------------

Siendo la cota en el eje de la tubería, en el origen, 685,68 m., y en el final de la misma 689,67, resulta, en el caso más desfavorable, la presión mínima al final de la tubería:

$$721,05 - (689,67 + 8,963) = \mathbf{22,417 \text{ m.}}$$

y la presión máxima:

$$727 - (689,67 + 8,963) = 28,367 \text{ m.,}$$

y teniendo en cuenta las pérdidas por llaves y otros conceptos, da un total para las presiones disponibles máximas y mínimas al final de la tubería, de 28 y 22 m., respectivamente.

(Continuará.)