

EL CANAL DEL ALTO JARAMA PARA EL ABASTECIMIENTO DE MADRID

Por EMILIO LOPEZ BERGES Y DE LOS SANTOS
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

En la revista "Informes de la Construcción", correspondiente a los meses de mayo, junio y julio-octubre de 1950, números 21, 22 y 24, publicamos tres artículos en los cuales se describían las características más sobresalientes de la traída de aguas del Lozoya a la capital de España, en sus aspectos histórico, actual y futuro, y se detallaba el proyecto del nuevo canal del Jarama, que mejoraría notablemente dicho abastecimiento. Realizados a plena satisfacción todos los trabajos comprendidos en aquel Proyecto, desde el 28 de junio de 1960, fecha de su inauguración oficial presidida por el Excmo. Sr. Ministro de Obras Públicas, ha suministrado a Madrid 51 613 000 m.³, 61 553 000 m.³ y 41 267 000 m.³ de agua durante las tres campañas de 1960, 1961 y 1962, respectivamente; en total 154 433 000 metros cúbicos, y en el tiempo transcurrido del año 1963, 111 000 000, todos ellos procedentes del embalse de "El Vado", que han contribuido poderosamente a mitigar la sed de los madrileños, que ascienden, según las últimas estadísticas, a 2 671 000. Obra de tal envergadura e importancia para la capital de la nación e incluso una de las de mayor consideración realizada en nuestra Patria en estos últimos años, creemos debe ser conocida con el suficiente detalle por los lectores de esta Revista, y, aunque con cierto retraso, del cual nos consideramos como principal culpable, debido a la incesante actividad desarrollada en el Canal de Isabel II, precisamente desde la iniciación de las referidas obras del Jarama, no queremos que transcurra más tiempo sin darlas a conocer debidamente, dando además con ello satisfacción a las numerosas peticiones de varios queridos compañeros, que en diversas ocasiones nos requirieron para ello, contando, al mismo tiempo, con la benevolencia de quien nos leyere, pudiendo estimarse que el presente artículo es a modo de complemento de los ya publicados y aludidos.

Descripción de la obra.

Respecto a los antecedentes y circunstancias que dieron como resultante la redacción del "Proyecto del Canal del Alto Jarama", han sido prolija y suficientemente detallados en aquellos artículos, y aunque en los mismos se describían los diferentes elementos fundamentales y características de dicho Proyecto, creemos, no obstante, que debemos, siquiera ligeramente, ha-

cerlo aquí, sobre todo teniendo en cuenta que importantes dispositivos del mismo han sido variados en la construcción y otros elementos completados, relatando, además, los diferentes avatares ocurridos durante el desarrollo de los trabajos y las consecuencias deducidas de su puesta en servicio y explotación.

El Canal del Alto Jarama, cuyo proyecto fué aprobado técnica y definitivamente en virtud de Ordenes Ministeriales de 22 de julio

de 1950 y 13 de enero de 1951, respectivamente, se inicia en la denominada "Torre de Toma", que emerge en el embalse de "El Vado" y en las inmediaciones, aguas arriba de la presa del mismo nombre, y después de conducir el agua a través del dispositivo de captación y de la cámara de rotura de carga, que describiremos más adelante, empieza el canal propiamente dicho, que discurre por la margen derecha del río Jarama, términos municipales de Retiendas, Valdesotos, Tortuero, Valdepeñas de la Sierra y Alpedrete de la Sierra, de la provincia de Guadalajara, cruza en sifón el río Lozoya, alojado en el cuerpo de la presa de "El Pontón de La Oliva", y, ya en plena provincia de Madrid, atraviesa las crestas calizas de los términos de Patones y Torrelaguna, llegando al depósito superior del salto de la central hidroeléctrica de aquella localidad, donde enlaza con los canales denominados "Alto" y "Bajo". Su longitud total es de 34 768,06 m., de los cuales 16 377,85 metros se corresponden a canal a cielo abierto; 12 115,27 m., en túnel; 1 911,89 m. sobre acueducto, y 4 363,05 m., en sifón.

La toma.

El dispositivo de toma construido, se varió sustancialmente con respecto al proyectado, pues se estimó, y los hechos han venido a demostrar lo acertado de tal modificación, que debía ampliarse hasta hacerlo capaz de 8 m.³/seg. (capacidad del canal), en vez de los 4 m.³/seg. primitivos, en el tramo comprendido desde el origen hasta el futuro injerto del Canal del Sorbe (capaz para otros 4 m.³/seg.), desde donde su capacidad sería de los 8 m.³/seg. mencionados. Ahora bien, al demorarse la construcción de este Canal del Sorbe, si en el intervalo era necesario abastecer a Madrid totalmente con el Canal del Jarama, cosa que ha ocurrido en las tres campañas mencionadas al principio del artículo, no parecería lógico que existiera un estrangulamiento en el origen del canal del 50 por 100 de su capacidad.

La toma propiamente dicha consiste en una torre cuya altura total es de 34,22 m., desde la

cota de máximo embalse (923,45 m.) al eje de la tubería de la toma inferior (889,23 m.). Además, se dispone de una salvaguarda de un metro por encima de aquel máximo nivel, con objeto de evitar que la fluctuación del agua alcance su coronación, rematándola mediante una bóveda zunchada de hormigón translúcido, de 6 m. de diámetro, cubierta por una airosa sombrilla de ladrillos de rasilla y contrafuertes de hormigón armado.

Va provista de tres series de tomas gemelas, situadas a las cotas 913,45, 901,34 y 889,23 metros. Estas tomas forman unas embocaduras de chapa de palastro, en las que van injertadas sus correspondientes tuberías, del mismo material, de 1 m. de diámetro interior, las cuales llevan intercaladas una válvula compuerta de igual diámetro.

Por lo que respecta a su sección en planta, se ha adoptado la forma circular, por estimar que trabajaría mejor bajo la acción de la presión uniforme del agua sobre cada tongada sometida toda ella a compresión desde cero, en la superficie, a 35 Kg./cm.² en su base. El espesor de sus paredes varía desde 1 m., en las inmediaciones de las tomas, a 2 m. en la parte posterior de las mismas, siendo la excentricidad de los círculos interior y exterior del contorno de 50 cm. Está constituida por una fachada de bloques de hormigón en masa vibrados de 80 × 40 × 40 cm., de 300 Kg. de cemento, al que se añadió un acelerador plastificado en la proporción de 1/10 litros de agua. Adosado a aquellos bloques se construyó un muro de hormigón en masa, también vibrado, de 300 Kg. de cemento, al que se agregó un impermeabilizante y un acelerador en la misma proporción de 1/10. Va provista, además, de una capa de ladrillo cerámico de 25 cm. de espesor, que sirve de drenaje en toda su altura; una cámara de aire de 5 cm., y un tabicón de ladrillo hueco de 4 cm., enlucido con mortero, que constituye la pared interior. Se instalaron, asimismo, las correspondientes plataformas de maniobra de las válvulas de cada una de las tres tomas y los colectores verticales de chapa de palastro de 1 m. de diámetro interior, que enlaza los tramos horizontales de aquellas tomas, que van embebidos en la fábrica del hormigón y en su

último tramo, desde la plataforma de maniobra de la válvula de la toma alta, hasta la coronación de la torre, se transforma en chimenea de equilibrio de 500 mm. de diámetro interior.

También se dispone de las correspondientes tuberías de abducción de aire de 100 mm. de diámetro, para cada tubería de 1.000, es decir, seis en total, que se injerta inmediatamente al lado de cada válvula, de fibrocemento, en sus ramas verticales, y chapa de palastro electro-soldada en las horizontales y codos.

En el interior de la torre se ha instalado una escalera metálica, para poder llegar con facilidad a cada una de las tres tomas y a la parte superior.

La torre comunica, mediante una galería revestida de hormigón en masa, de 4,50 m. de anchura, 3,40 m. de altura, 238 m. de longitud y 0,001 de pendiente, con la cámara de válvulas. Las filtraciones producidas por el embalse penetran a través del drenaje de ladrillo del revestimiento interior de la torre y circulan por los dos cunetones situados a los lados interiores de los apoyos de hormigón en masa de las dos tuberías de 1 m. de diámetro interior, alojadas en la galería de las denominadas tipo "Bonna", y que iniciándose a los 9,50 m. de la válvula compuerta de la toma inferior continúa a lo largo de la mencionada galería hasta llegar a la cámara de válvulas, donde se empalman con tuberías metálicas electrosoldadas del mismo diámetro, hasta ir a parar a una válvula compuerta, asimismo, de 1 000 mm., que enlaza mediante junta flexible con otra de regulación de las llamadas "Jhonson" o de aguja, terminando en otro tramo de tuberías, que a través de un muro de hormigón en masa va a parar a la cámara de rotura de carga, de 22 m. de longitud, 7 m. de anchura y 4,10 m. de altura, capacidad más que suficiente, como lo ha demostrado la práctica de estos últimos tres años, para que el agua que penetra en ella a través de la tubería descrita, con velocidad máxima de 5,10 m./seg., correspondientes al caudal de 8 m.³/seg., se aminore hasta quedar reducida, sin fenómenos tumultuosos, a la de 1,67 m./seg., que es la de paso por el vertedero en pared delgada para aquel mismo caudal, dispositivo en

que termina la cámara de válvulas, y que sirve para aforar el caudal que alimenta el canal propiamente dicho.

Las válvulas de que consta el dispositivo de toma, a saber: Las seis de compuerta de la torre; las dos de compuerta, asimismo, de la cámara de válvulas, y las dos de regulación, además de maniobrarse cada par de ellas independientemente, puede realizarse mediante un puesto de mando centralizado, situado en la cámara de válvulas, desde donde se divisa su conjunto.

Además, se construyó una galería de acceso que en su día comunicará con la central hidro-eléctrica que se instalará para aprovechar el desnivel entre la cota de máximo embalse, 923,45 metros, y la de la solera del canal, 898,80 metros, con una altura útil de 24,65 m. y caudal regulado de 2,5 m.³/seg.; el canal de descarga de la referida central, al que irá a parar en un próximo futuro el sifón terminal del Canal del Sorbe, y adosado a él un aliviadero lateral con dos vanos de 5 m. cada uno. A continuación del vertedero de aforo, y mediante una sección de acuerdo, se inicia con el túnel núm. 1 el canal propiamente dicho.

En la figura 1.^a se dibujan la planta y secciones suficientes de este complejo, para poderse dar una idea completa de su importancia y seguir el detalle de la descripción que antecede.

Para poder enlazar la Torre de Toma con la ladera de la margen derecha del Jarama, se ha construido una pasarela de hormigón pretendido tipo "Barredo", constituida en esencia por cuatro vigas de 30 m. de luz, de sección en "Y", cuyo detalle se ilustra en la referida figura 1.^a, apoyadas en aquella torre, en una pila intermedia y en un estribo que emerge de dicha margen.

La sección transversal.

La sección transversal del acueducto del Jarama, en toda su longitud, salvo, como es lógico, en los sifones, es ovoide (fig. 2.^a), y para su cálculo hidráulico se ha partido de la fórmula de Bazin, considerando un coeficiente de 0,10.

Observando las curvas de velocidades y cau-

dales, resulta el caudal máximo 9,416 m.³/seg., para 2,90 m. de altura, y la velocidad máxima 1,208 m./seg., a los 2,50 m. Al final de este artículo compararemos estos resultados teóricos con los reales obtenidos después de numerosas observaciones y aforos, durante los períodos del abasto a Madrid en los años de 1960, 1961 y 1962.

La sección estaba proyectada revestida de hormigón de 250 Kg. de cemento, y enlucido de mortero. No obstante, se ha realizado con hormigón vibrado, de la misma dosificación y sin enlucir, cambio que ha redundado en beneficio de la obra, como claramente se ha demostrado en el tiempo transcurrido, no obstante, haber estado sometido el canal a la carga máxima de agua de que es capaz.

El espesor de dicho revestimiento es variable, de acuerdo con la diversa naturaleza del terreno que atraviesa: rocas calizas, pizarras silurianas, terreno de tránsito, tierras, etc., y para el cálculo de su estabilidad se ha supuesto un empuje de tierras de 6 m. de espesor medio alrededor del trasdós de la bóveda, considerando la sección vacía de agua, para ponernos en las peores condiciones, una densidad de las tierras de 1 800 Kg./m.³, y un ángulo de rozamiento de 40°. Se ha aplicado el teorema de Castigliano, determinándose gráficamente el funicular de las cargas consideradas, resultando el valor de la máxima reacción extrema, 24 200 Kg.

Características fundamentales del trazado.

Tiene una pendiente uniforme de 0,00025 m. por m. l., excepto en los sifones, iniciándose en la cota 889,23 m., y terminando en la 866,85 metros (cara superior de la solera). Consta de 35 túneles, siendo el más largo el 19, de 1 481 metros, siguiéndole el 13, con 1 186 m. Los restantes tienen longitudes variables, oscilando entre los 1 000 y los 44 m.

Se han construido, además, numerosas obras de fábrica, tales como 37 acueductos, 10 caños, 7 tajeas, 32 badenes, 2 almenaras, 2 estaciones de aforo, numerosos registros de acceso y de entrada de materiales, etc., habiéndose inspira-

do, respecto a los acueductos, en las obras del Canal Bajo, y estando constituidos esencialmente por arcos de directriz circular, de 8, 4, 3 y 2 m. de luz, que se han comprobado, asimismo, aplicando el teorema de Castigliano, determinándose, como en el caso del cálculo de la sección, gráficamente el funicular de las cargas consideradas, observándose que la resultante pasa sensiblemente dentro del tercio del núcleo central de cada una de las dovelas, pudiéndose apreciar que las cargas de trabajo de las pilas no resultan superiores a 7 Kg./cm.².

SIFONES.

Se han construido diez sifones, denominados, siguiendo el sentido del agua: Valdesotos, Tortuero, El Pontón, Valdetales, Hocino, Las Cuevas, Patones, San Román, Mortero y Matachivos, cuyas características fundamentales, longitud, carga y pérdida de carga figuran en el esquema general que incluimos (fig. 3.ª).

Aunque se proyectaron las tuberías de dichos sifones de hormigón armado, centrifugado y vibrado, con camisa de chapa de palastro intermedia, se estimó por la Superioridad que debía sustituirse dicho material, por consideraciones que no son del caso, por chapa de palastro electrosoldada. Quedando, por tanto, la sección de aquéllos formada por dos tuberías de este último material, de 1,50 m. de diámetro interior y espesor variable de 6 a 14 milímetros, según las cargas a que han de estar sometidas. apoyadas en dados de hormigón en masa.

Para el cálculo mecánico del tubo, se lo ha considerado solicitada por los siguientes esfuerzos: Presión interior debida a la columna de agua; flexión de la tubería entre apoyos y esfuerzos debidos a los rozamientos sobre apoyos. En cuanto a su cálculo hidráulico, se han determinado las pérdidas de carga a la entrada, debida al rozamiento, y en los codos y curvas.

El sifón de mayor importancia es el mencionado de "El Pontón", de 1 498,02 m. de longitud y 146 m. de carga, que atraviesa el río Lozoya, alojándose en una galería excavada dentro de la presa de aquel nombre, con lo que se

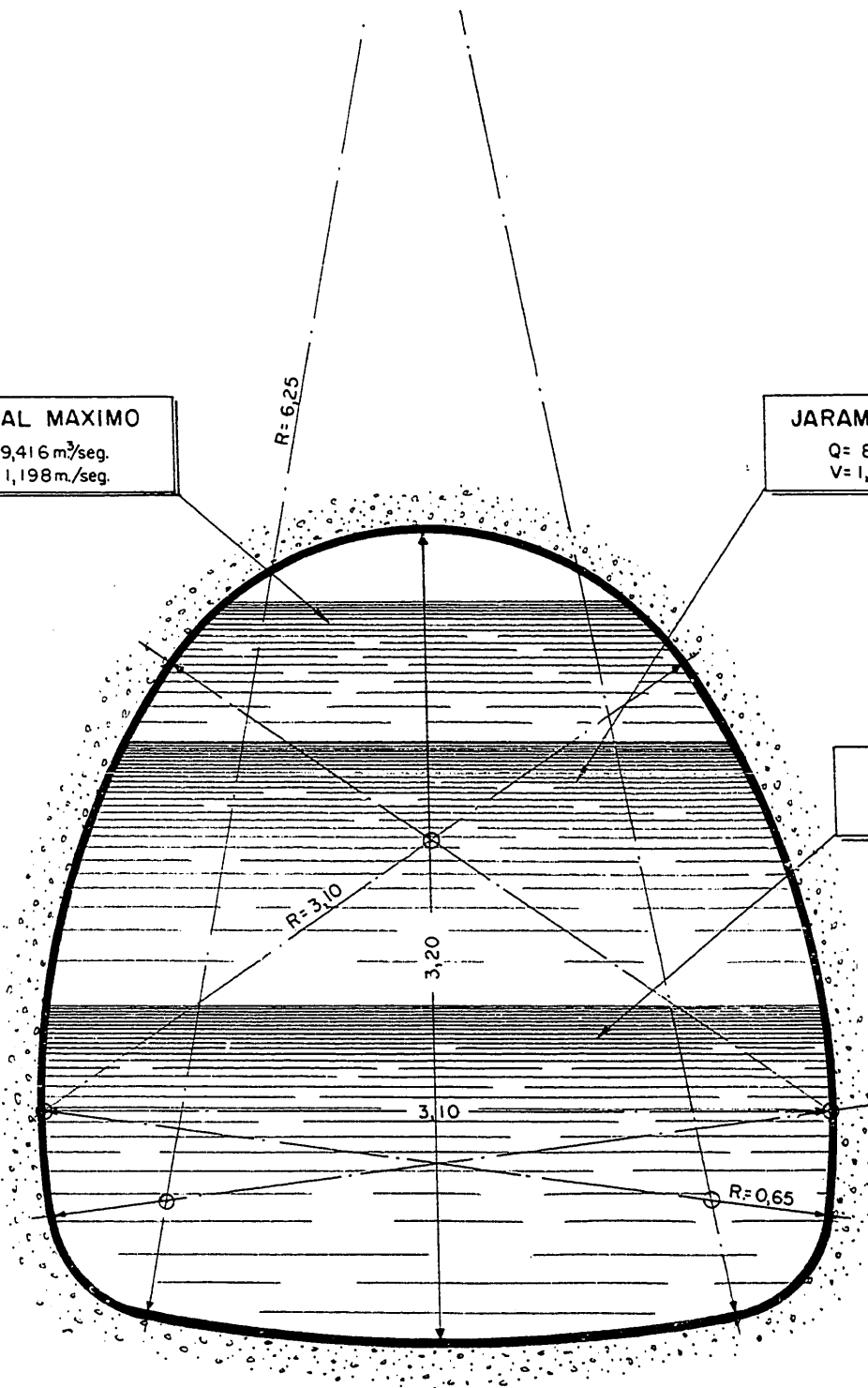
SECCION INTERIOR DE CANAL ADOPTADA

$i = 0,00025$

CAUDAL MAXIMO
 $Q = 9,416 \text{ m}^3/\text{seg.}$
 $V = 1,198 \text{ m./seg.}$

JARAMA + SORBE
 $Q = 8 \text{ m}^3/\text{seg.}$
 $V = 1,20 \text{ m./seg.}$

JARAMA
 $Q = 4 \text{ m}^3/\text{seg.}$
 $V = 1,064 \text{ m./seg.}$



CURVAS DE VELOCIDADES Y CAUDALES

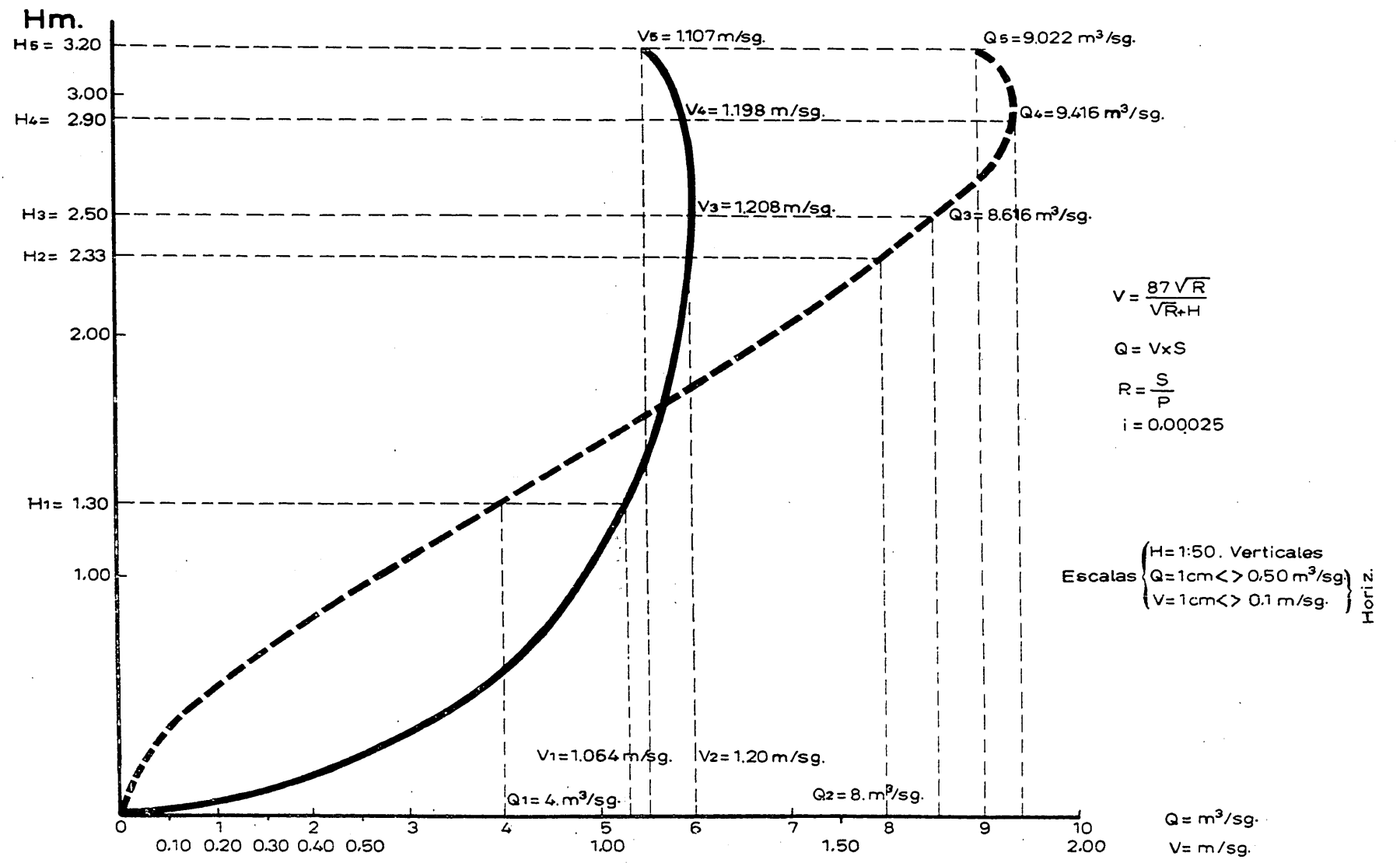
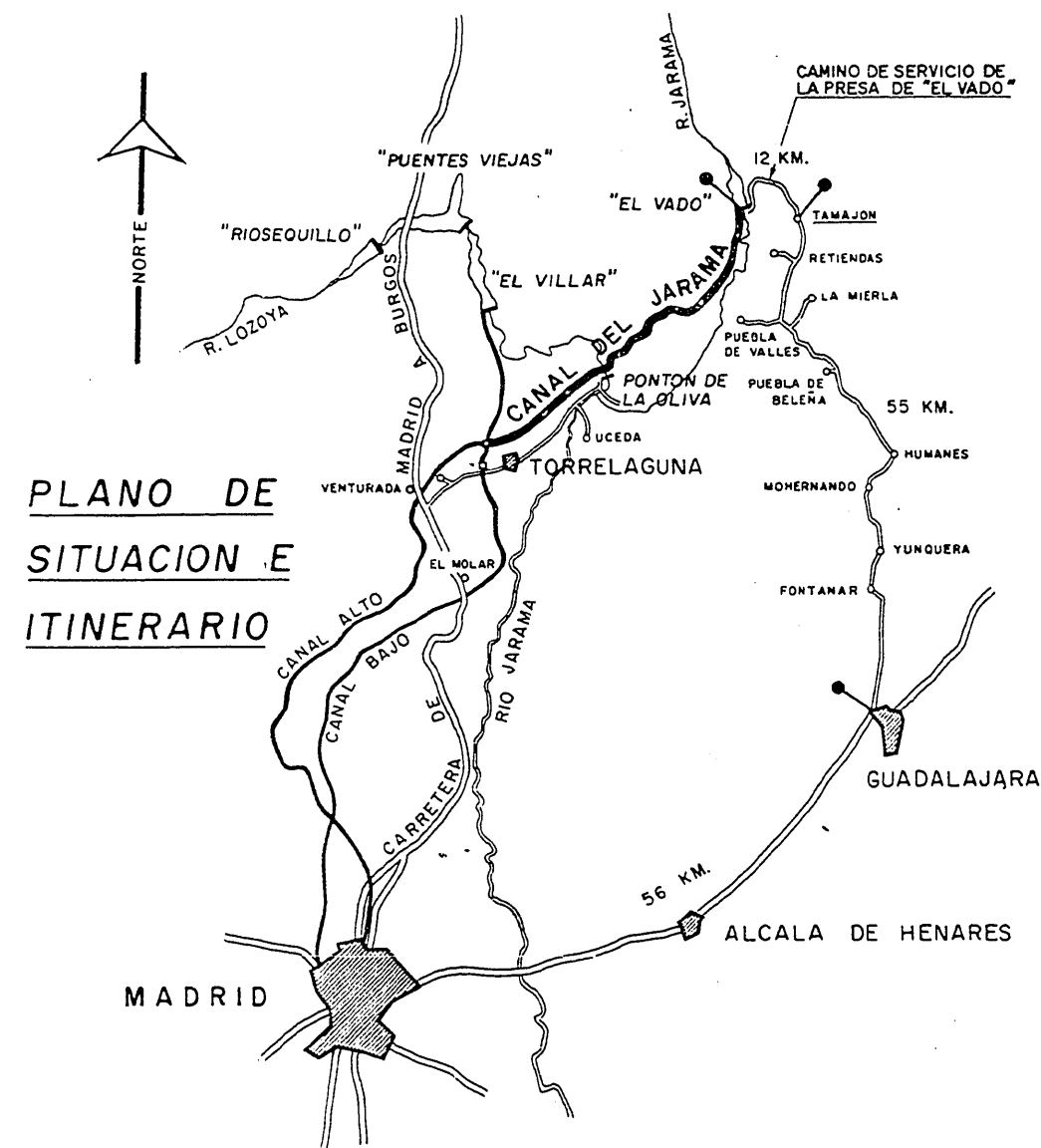


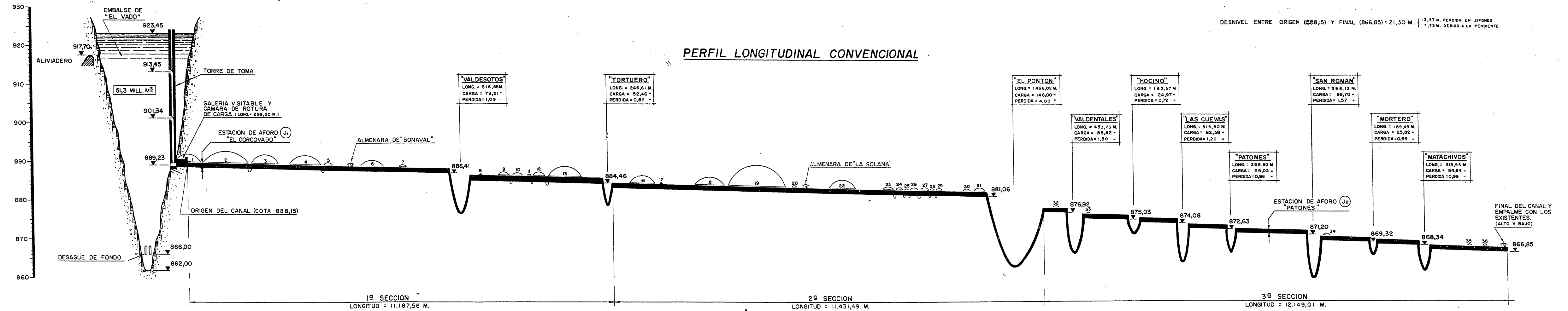
Fig. 2.ª — Sección transversal del Canal.

CANAL DEL JARAMA

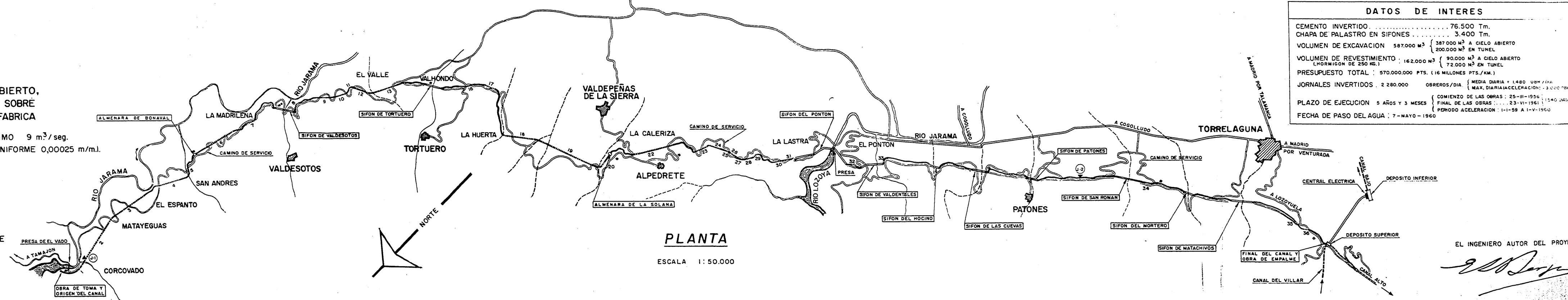
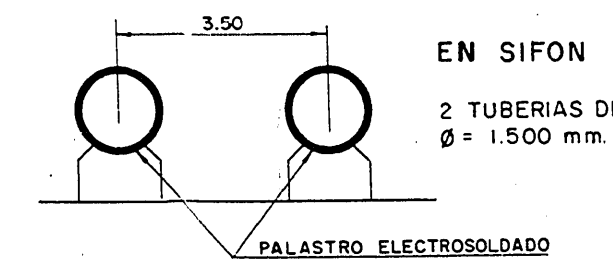
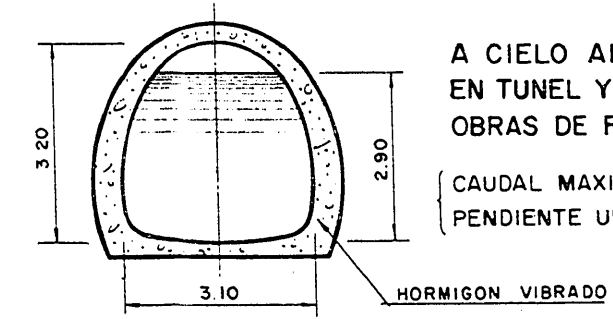


CLASIFICACION DEL TRAZADO:

SECCIONES	LONGITUDES EN METROS				TOTALES POR SECCIONES
	A CIELO ABIERTO	EN TUNEL	O DE FABRICA	EN SIFON	
1ª	3.894,12	5.855,78	674,20	763,46	11.187,56
2ª	3.203,64	5.732,89	996,94	1.498,02	11.431,49
3ª	3.280,09	526,60	240,75	2.101,57	12.149,01
TOTALES CLASIFICADOS	16.377,85	12.115,27	1.911,89	4.363,05	34.768,06



SECCIONES TIPO

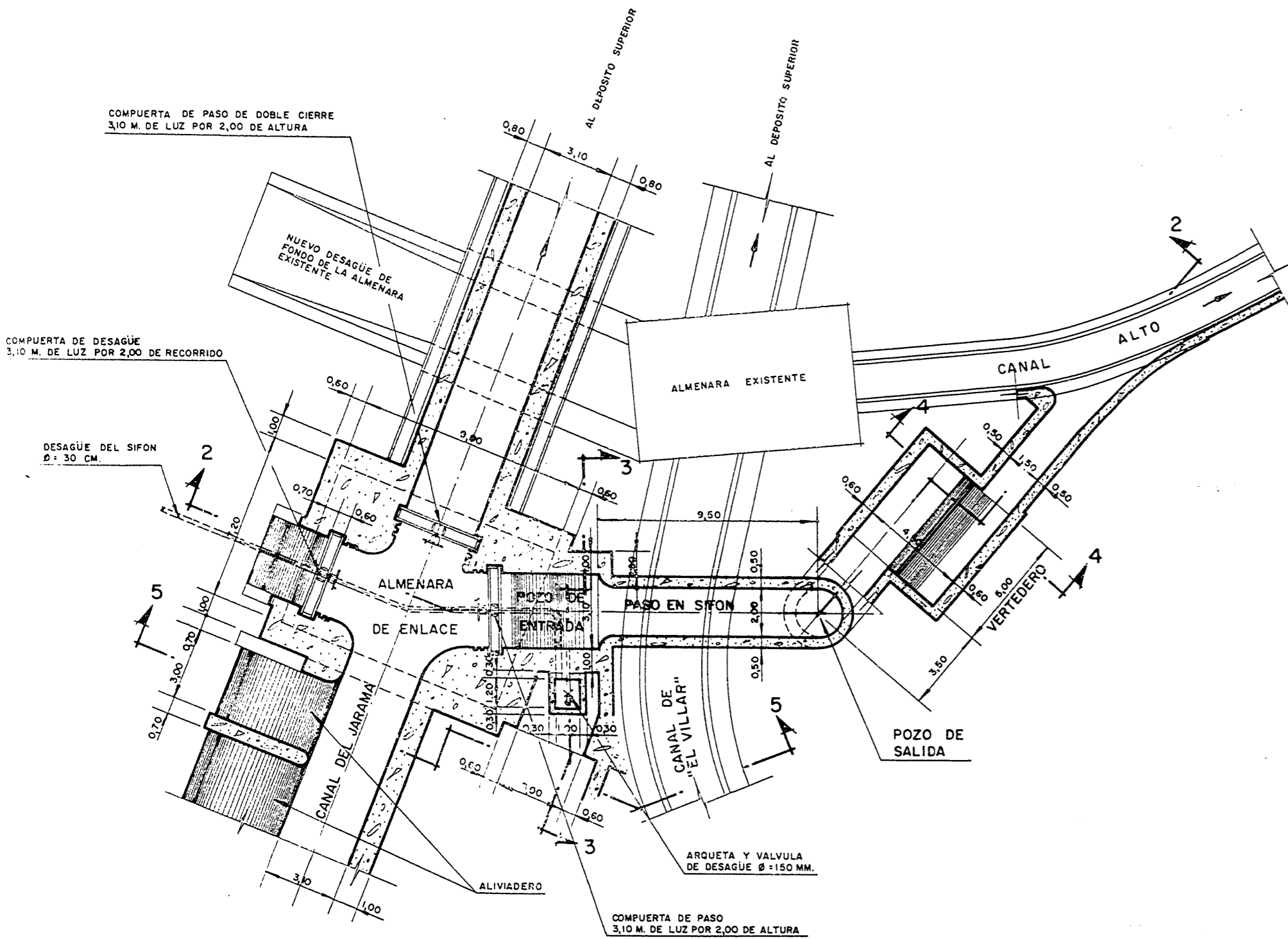


DATOS DE INTERES

CEMENTO INVERTIDO	76.500 Tm.
CHAPA DE PALASTRO EN SIFONES	3.400 Tm.
VOLUMEN DE EXCAVACION	587.000 m ³ { 387.000 m ³ A CIELO ABIERTO, 200.000 m ³ EN TUNEL
VOLUMEN DE REVESTIMIENTO	162.000 m ³ { 90.000 m ³ A CIELO ABIERTO, 72.000 m ³ EN TUNEL (HORMIGON DE 250 KG.)
PRESUPUESTO TOTAL	570.000.000 PTS. (16 MILLONES PTS./KM.)
JORNALES INVERTIDOS	2.280.000 OBREROS/DIA { MEDIA DIARIA = 1.480 URM/DIA, MAX. DIARIA (ACCELERACION) = 3.000 URM/DIA
PLAZO DE EJECUCION	5 AÑOS Y 3 MESES { COMIENZO DE LAS OBRAS: 25-III-1954, FINAL DE LAS OBRAS: 23-VI-1961, 1540 DÍAS ÚTIL
FECHA DE PASO DEL AGUA	7-MAYO-1960 { PERIODO ACCELERACION: I-II-59 A I-IV-1960

Fig. 3.º - Esquema general del Canal.

SECCION 1-1



SECCION 2-2

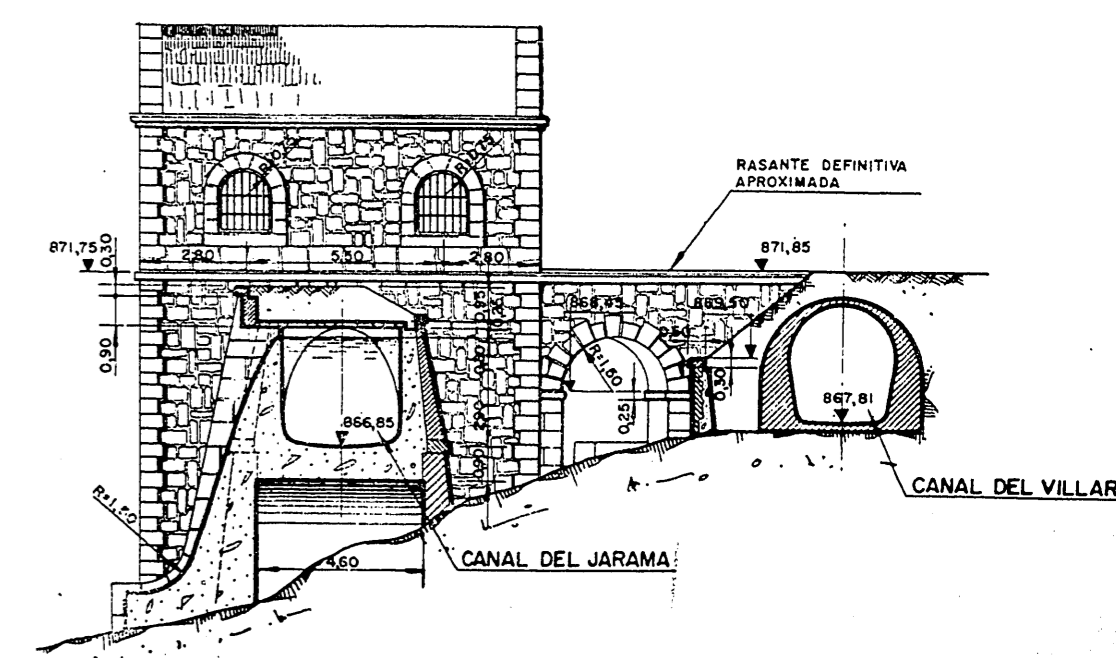
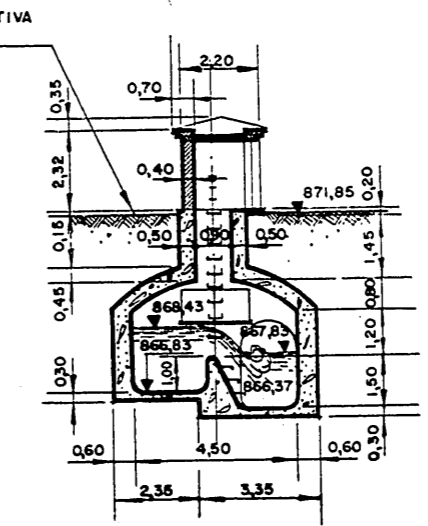
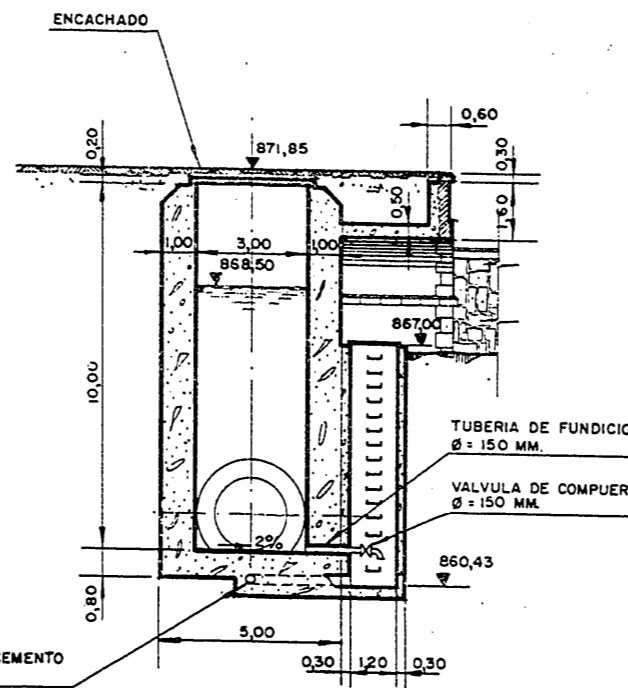
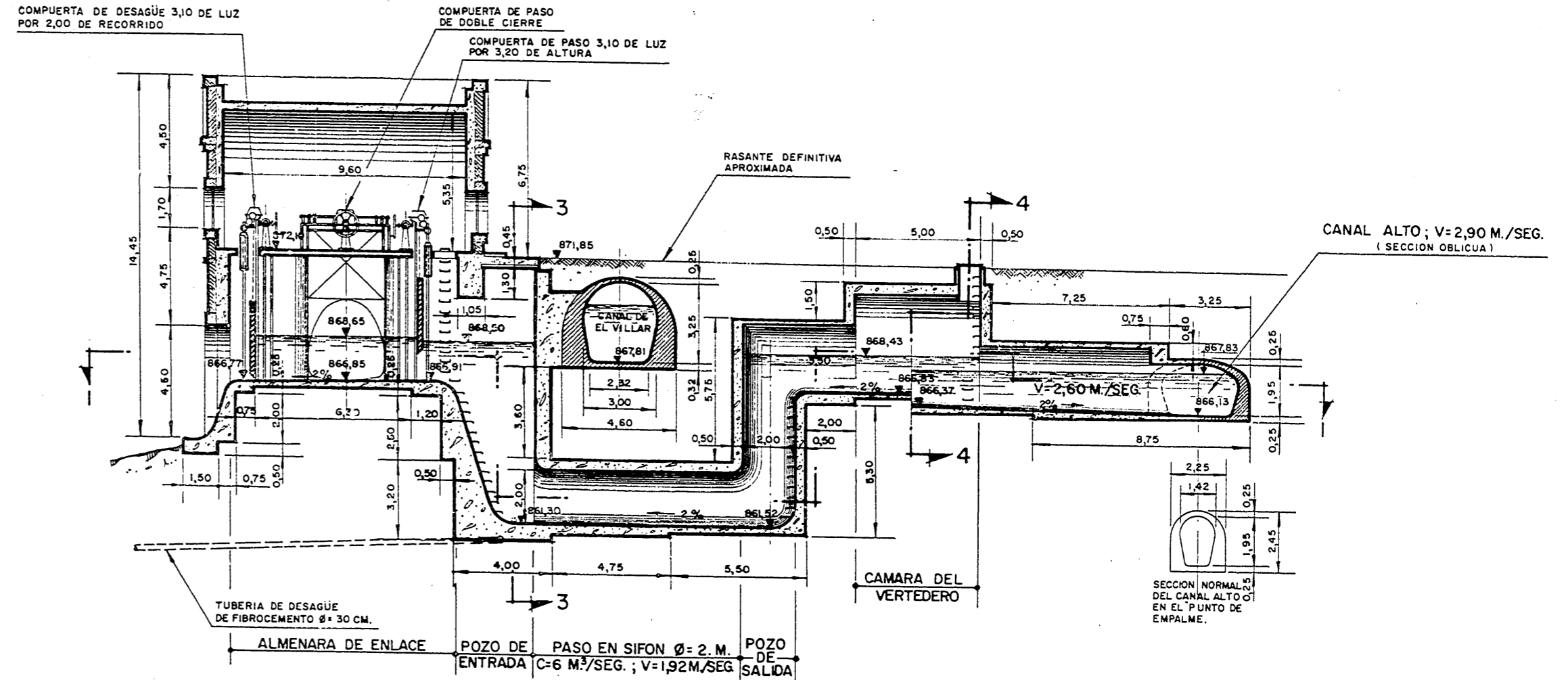


Fig. 4.ª — Obra de enlace.

SECCION 3-3

SECCION 4-4

SECCION 5-5

ha conseguido no variar el aspecto de dicha obra, la más venerable del Canal de sabel II.

Todos los sifones están provistos de cámaras de entrada, salida y de desagüe de fondo, situada a un lado del barranco y fuera de los pontones sobre los que se apoyan sus tramos inferiores.

La *cámara de entrada* consiste en una arqueta en la que desemboca el canal, donde se ha construído lateralmente un desagüe de fondo con su compuerta, estando provista, además, de un tajamar, con otras dos, que divide la sección en forma de embudo, y que va a parar a cada una de las dos tuberías, y aguas arriba de esta cámara un aliviadero de superficie de 10 m. de vano, cuyo labio está situado a la altura del nivel máximo de agua, para impedir que el tramo correspondiente del canal se ponga en carga.

La *cámara de salida* es simétrica a la entrada, y tiene por única misión albergar a los dos tubos a su llegada a ella, que mediante un tajamar provisto de dos compuertas se reúnen en una sección, en la cual se inicia el canal propiamente dicho.

El *desagüe de fondo* es también una arqueta situada en un estribo del acueducto, que ha de servir de apoyo al tramo anterior de aquél, injertándose en la parte más baja de cada tubería que atraviesa dicha arqueta y mediante piezas especiales, dos tubos de fundición de 200 milímetros de diámetro interior, provistos de sus correspondientes válvulas.

En cuanto a los *acueductos de apoyo* de los tramos inferiores de los diferentes sifones, son de distinta importancia, según la depresión del terreno que deben salvar y del caudal de avenidas del arroyo que atraviesan, ya que se ha seguido el criterio de evitar que las aguas puedan circular por encima de las tuberías, con el consiguiente peligro de contaminación, e incluso, de arrastre de ellas, por lo cual se ha dado amplia sección a su desagüe. Se han realizado con características análogas a las del resto de los acueductos del canal propiamente dicho, ya citados, siendo fundamentalmente arcos de directriz circular de 8, 4 y 2 m. de luz, según los casos.

Además de las almenaras de entrada y salida de los sifones, *se han construído otras dos*, ubicadas sensiblemente, cada una hacia la mitad del trazado de las 1.^a y 2.^a Secciones, es decir: la primera a 5 Km. del origen, y la segunda entre los sifones de "Tortuero" y "El Pontón", junto a Alpedrete de la Sierra.

Consisten, fundamentalmente, en un tramo del canal, uno de cuyos paramentos laterales se transforma en un muro de aliviadero. El dispositivo se protege mediante una cámara consistente en una caseta con cubierta a dos aguas. Estas almenaras, provistas de compuertas de "paso" y laterales de desagüe o "de campo", se han construído con objeto de dejar tramos del acueducto comprendido entre ellas, estancos, para proceder a su reparación y conservación.

En cuanto al material constitutivo de todas estas obras de fábrica, consiste en mampostería en las caras vistas, que además sirve de encofrado al hormigón del relleno, y las aristas de los muros de acompañamiento, boquillas de los arcos, pilas, etc., de sillería tosca, con lo que se ha conseguido que estas obras de fábrica armonizaran con lo agreste del paisaje y con la tradición de las bellas obras del acueducto primitivo, que discurre 150 m. más abajo del Canal del Jarama, y que fué construído hace más de cien años, en la que pudiéramos calificar "época heroica".

El Canal del Jarama termina en la denominada "Obra de enlace" (fig. 20) de aquél con los canales "Alto" y "Bajo" del Lozoya, actualmente en servicio. Es uno de los dispositivos fundamentales de este canal, cuyo último tramo injerta en el testero del Depósito Superior de la Central Hidroeléctrica de Torrelaguna, paralelamente al Canal del Villar (acueducto que transporte las aguas del Lozoya a través de los embalses de Ríosequillo, Puentes Viejas y El Villar, y que alimenta al Canal Alto y por medio de aquel depósito y de las dos tuberías de presión del Salto, al Canal Bajo), y que cruzando por debajo de éste, abastece, asimismo, al Canal Alto, inmediatamente aguas abajo de su almenara de origen.

Para albergar este nudo se ha construído una almenara, y aguas arriba de ella un aliviadero

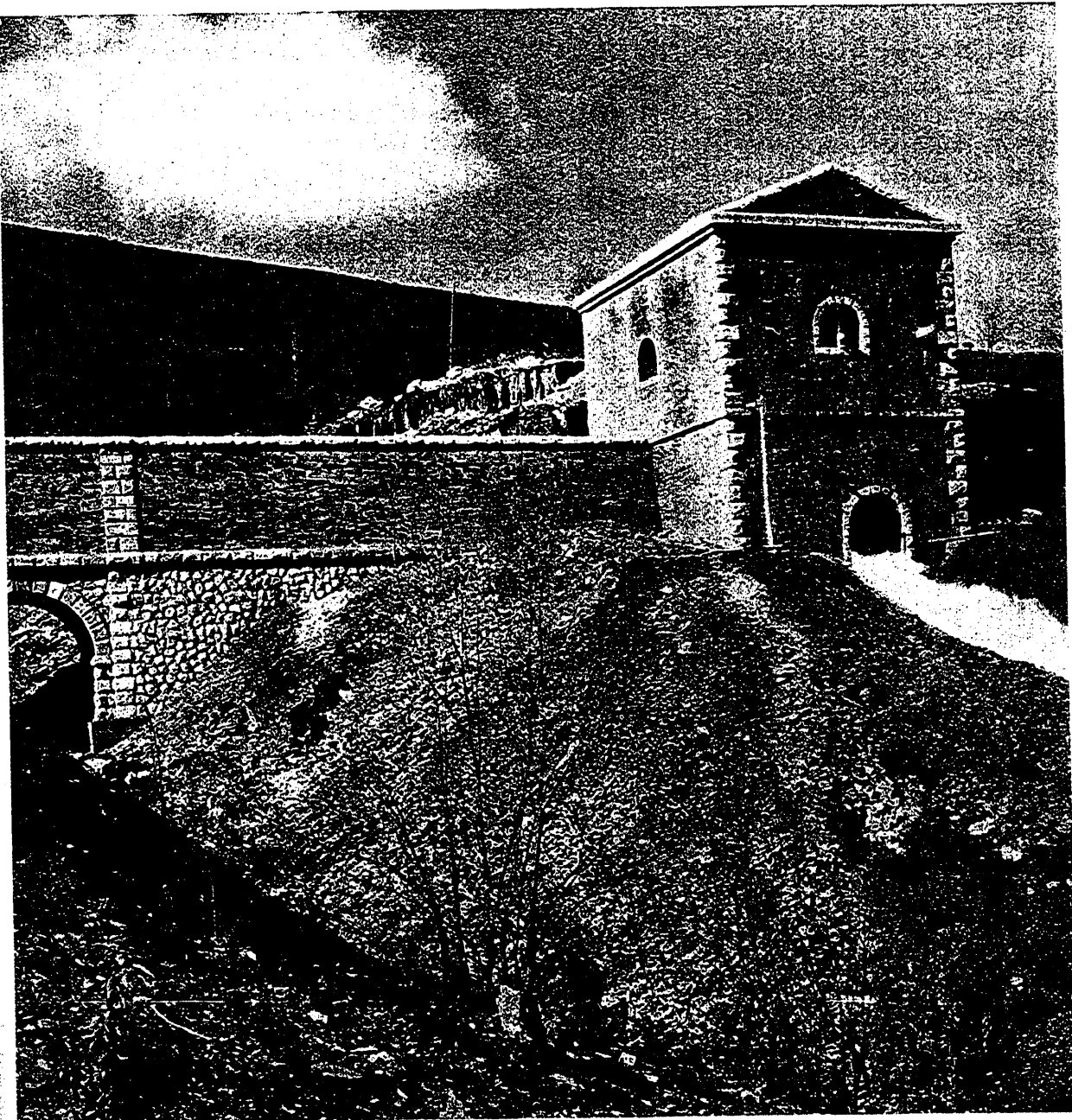


Fig. 5.º. — Almenara de la 1.º Sección, vertiendo.

de 10 m. de longitud, provisto del desagüe correspondiente.

Con objeto de poder realizar toda suerte de combinaciones con los caudales conducidos por los canales del Jarama y El Villar, se han instalado tres compuertas: una de 3,10 m. de luz, 3 m. de altura y 2 m. de recorrido, para el mencionado desagüe de fondo. Otra, de las mismas

dimensiones, pero con 2,90 m. de recorrido, que sirve para incomunicar el tramo final del Canal del Jarama (Almenara-Depósito superior), y la tercera, también de 2,90 m. de recorrido, que se utiliza para aislar o comunicar aquel acueducto y el tramo de enlace con el Alto.

Esta unión se realiza cruzando el Canal del Villar mediante sifón, haciendo un injerto pro-

piamente dicho por un vertedero de 5 m. de luz, que desemboca en una galería de 1,50 metros de altura, que enlaza con el Canal Alto por medio de acuerdo en "pico de flauta". Además, se dispone un registro de entrada para poder acceder a la mencionada galería.

Todos estos dispositivos pueden verse ilustrados en la figura 4.ª.

Asimismo, se han construido diez casillas para guardas, distribuidas estratégicamente de forma que éstos puedan atender debidamente a la conservación del canal y su camino de servicio, así como a las maniobras de las distintas compuertas de las diferentes almenaras del canal y de los sifones (figs. 5.ª y 6.ª).

Para servir las necesidades de las obras y, posteriormente, durante su explotación, de forma que se tenga fácilmente acceso a todos sus puntos neurálgicos, tales como la entrada y salida de los diversos túneles, cámaras de los sifones, almenaras, etc., se ha realizado un camino de servicio que discurre lo más cerca posible de la traza del canal, de 60 Km. de longitud, en números redondos, y por tratarse de una

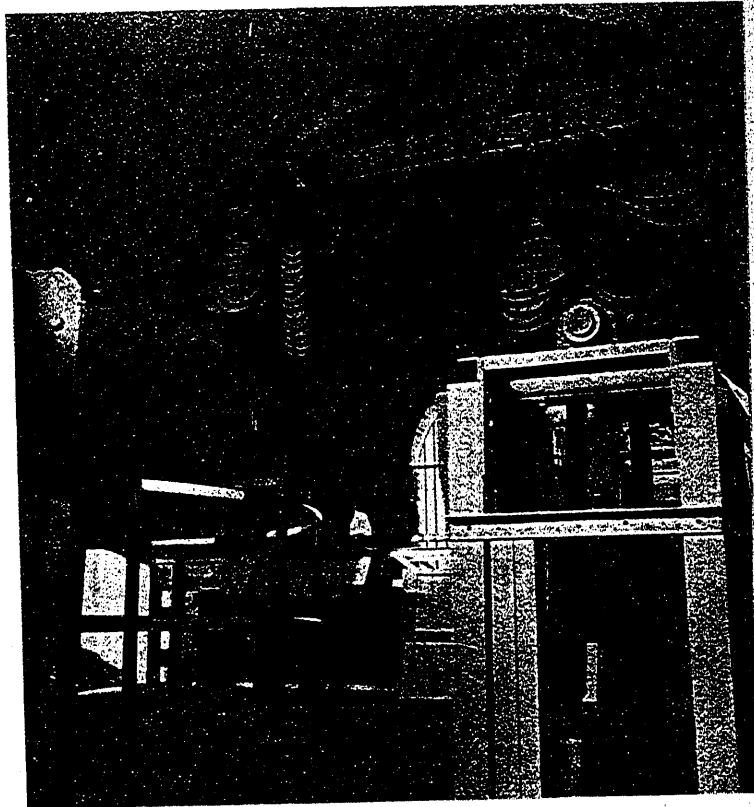


Fig. 6.ª — Detalle del interior de la Almenara de Enlace.

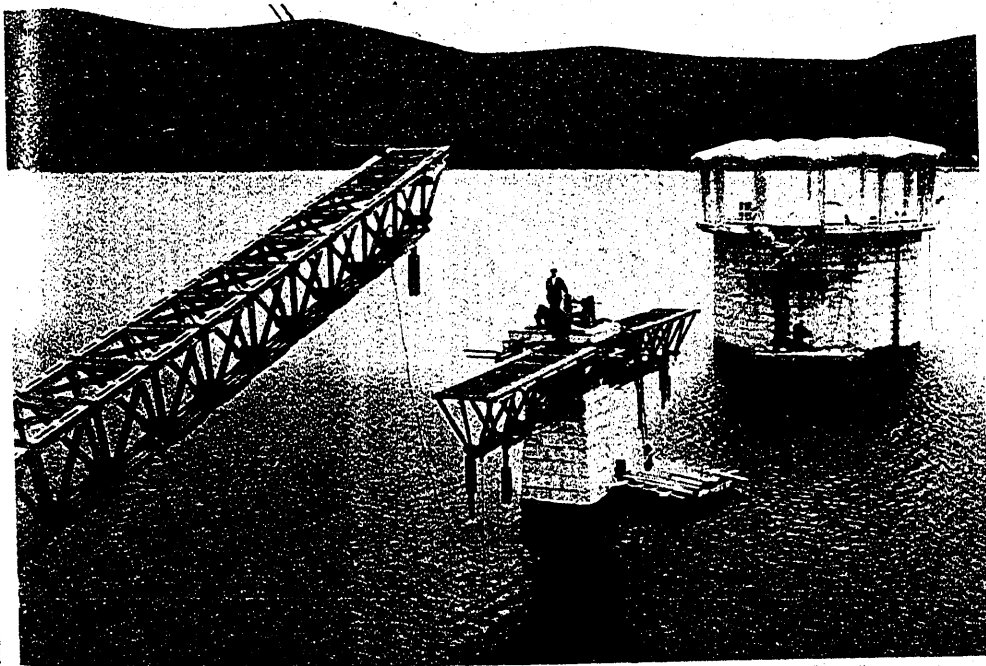


Fig. 7.ª.—Lanzamiento de las cimbras Roglá para la construcción de la pasarela de acceso.

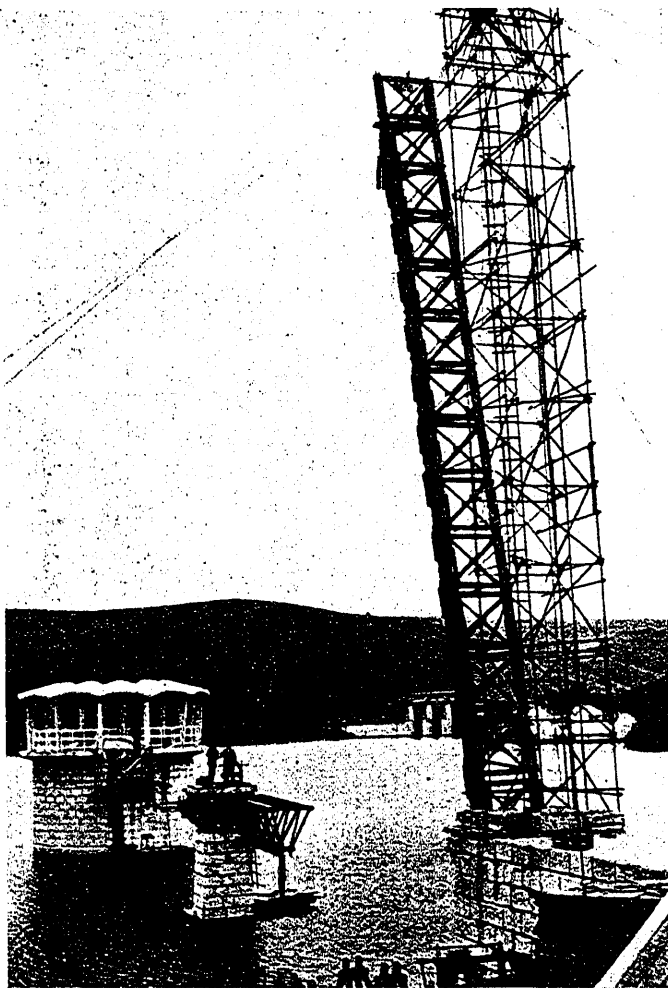


Fig. 8.^a. — Otra vista del lanzamiento.

Fig 10 — Vista de la Cámara de rotura de carga, vacía.

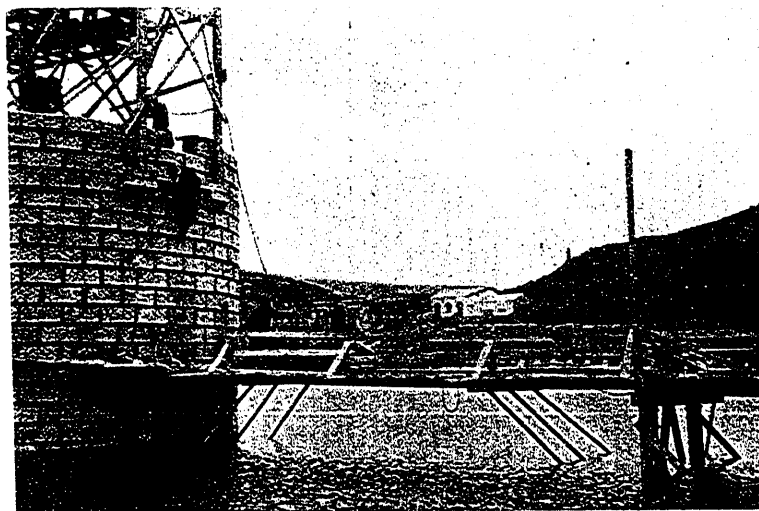
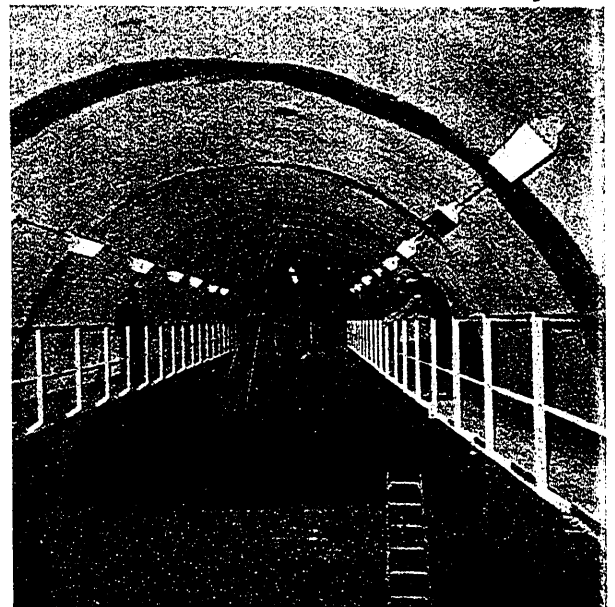


Fig. 9.^a. — Construcción de la Torre de Toma.

pista de montaña, su anchura total, incluidos los paseos laterales, es de 5 m., habiéndose, no obstante, previsto numerosos ensanchamientos, con objeto de que en ellos puedan cruzarse dos vehículos y realizar diversas maniobras, no siendo la pendiente de sus tramos, en ningún caso, superior al 10 por 100, ni sus radios menores de 30 m.

Asimismo, se ha instalado una línea de energía eléctrica a 20.000 voltios, desde la Central Hidroeléctrica de Torrelaguna a la Presa de El Vado, lo que permitió la electrificación de los tajos durante las obras.

Vicisitudes de los trabajos.

Por su importancia y dificultades especiales, destaca la construcción de la mencionada Torre de Toma (figs. 7.^a, 8.^a y 9.^a), que se llevó a cabo en un tiempo record de cinco meses, incluida la excavación de su cimentación, a pesar de una interrupción de quince días, motivada por una fuerte riada.

Terminado su proyecto de detalle en el mes de noviembre, comenzó inmediatamente la excavación de su cimentación, que alcanzó un volumen de 4 300 m.³, y a continuación, y mientras se hormigonaba aquélla, se iniciaba la de



Fig. 11. — Cámara de Rotura de Carga vista desde aguas arriba.

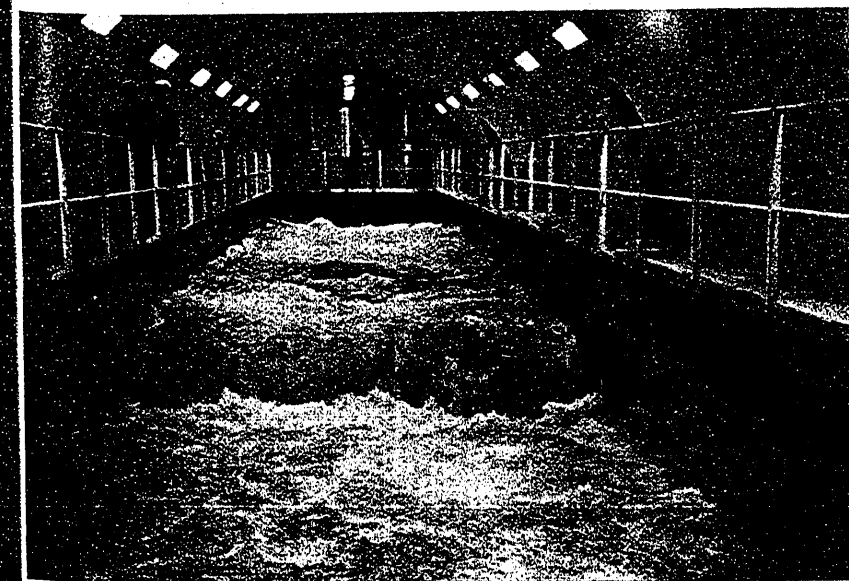


Fig. 12. — Cámara de Rotura de Carga vista desde aguas abajo.

la galería visitable, por la parte de aguas arriba.

La fábrica de la Torre de Toma propiamente dicha, tuvo que hacerse utilizando primero el camino de acceso al pie de la misma; más adelante, una pasarela que iba a parar aproximadamente a la mitad de sus 36 m. de altura y, desde aquí a la coronación, mediante balsas movidas por cabrestantes desde la ladera. De los tres pares de tomas, la inferior fué provista de com-

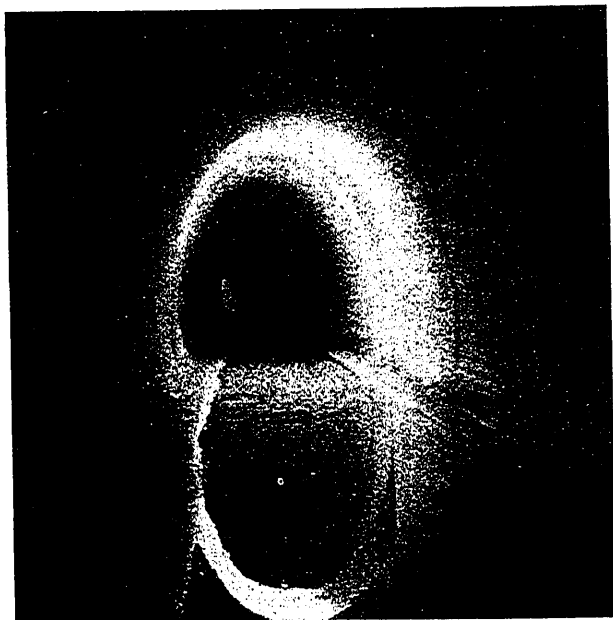


Fig. 13. — Interior de un túnel.

puertas montadas durante la construcción, y en cuanto a las intermedia y superior, se les dotaron de bridas ciegas, por no dar tiempo la velocidad de la elevación del nivel del agua embalsada, para instalar dichas válvulas. A últimos del mes de abril de 1960 se coronó la torre, dejando empujadas dentro del muro de la misma las dos tuberías metálicas.

Como para realizar la cimentación de aquella torre, situada como ya sabemos en la margen derecha del embalse de "El Vado", fué necesario mantener abiertas las compuertas de dicha presa, con objeto de que las aguas no estorbaran los trabajos y, por otro lado, era imprescindible embalsar el máximo posible, a fin de atender a las justas demandas de los regantes usuarios de la Real Acequia del Jarama, que se abas-

tecnen de dicho embalse, fué una verdadera lucha contra reloj, en la que la fábrica de la torre se iba subiendo con un pequeño decalage con la velocidad de subida de aquel nivel, siendo plenamente satisfactorio el resultado obtenido, sobre todo, el que no obstante la gran cantidad de trabajadores empleados en dicha construcción y el haberse adoptado turnos continuos, día y noche, no hubo que lamentar ningún accidente grave, aunque sí algún que otro chapuzón.

El revestimiento de la galería visitable, se efectuó al mismo tiempo que se construía la torre, dándose la circunstancia que se empezó a trabajar con el embalse en carga e incluso que en un tajo el trasdós de aquella galería se encontraba a sólo 7 metros de la superficie del terreno, lo que dió lugar a diversos desprendimientos, que hicieron necesario disponer fuertes entibaciones para contener el terreno en esa zona.

Se llevaba el hormigonado de la galería inmediatamente detrás de la excavación, rellenando los huecos que hubieran podido quedar entre el terreno y el trasdós del revestimiento con inyecciones que llegaron a alcanzar la cifra de 2 500 Tm. de cemento, para 300 m. de longitud. Se realizaron además 5 200 m.³ de excavación para el "complejo de válvulas" (figs. 10, 11 y 12), efectuándose ésta obra con tres accesos a diferentes alturas, lo que se pudo llevar a cabo empleando el denominado "método belga", o sea primero galería de avance en bóveda y ensanches inmediatos, sujetando el terreno con la bóveda ejecutada a continuación y la construcción de sus estribos mediante los bataches necesarios, distribuídos al tresbolillo.

EXCAVACIONES.

La longitud de los *diversos túneles* de que consta el trazado del canal, como ya vimos, es muy variable, pues va desde 1 500 m. (núm. 19) hasta 50 m., y el terreno que atraviesan en su mayoría pizarras silurianas, o bien calizas cretácicas, aunque hay también arcillas, tránsito y conglomerados (figs. 13, 14 y 15).

Fig. 14. — Inspección de las obras.

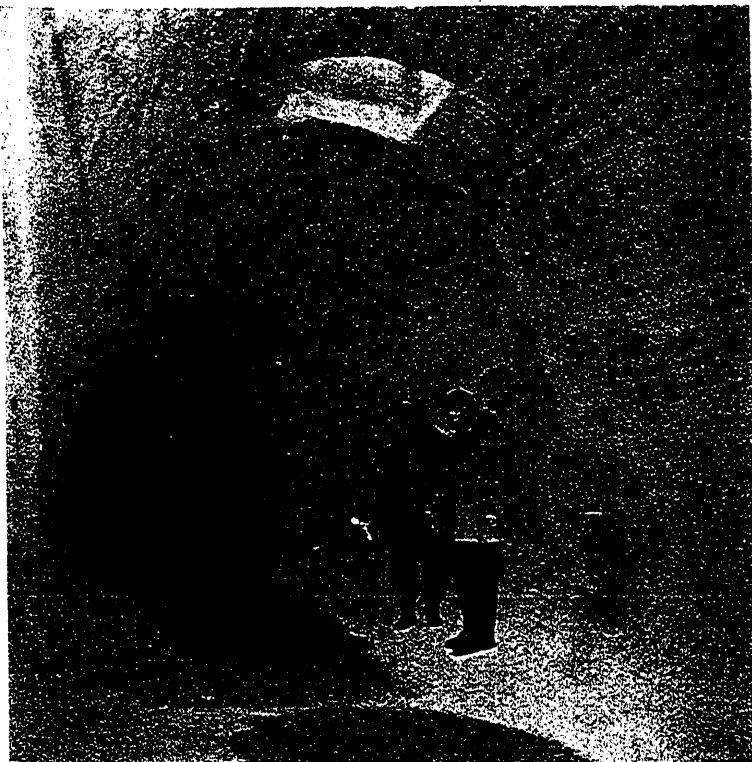
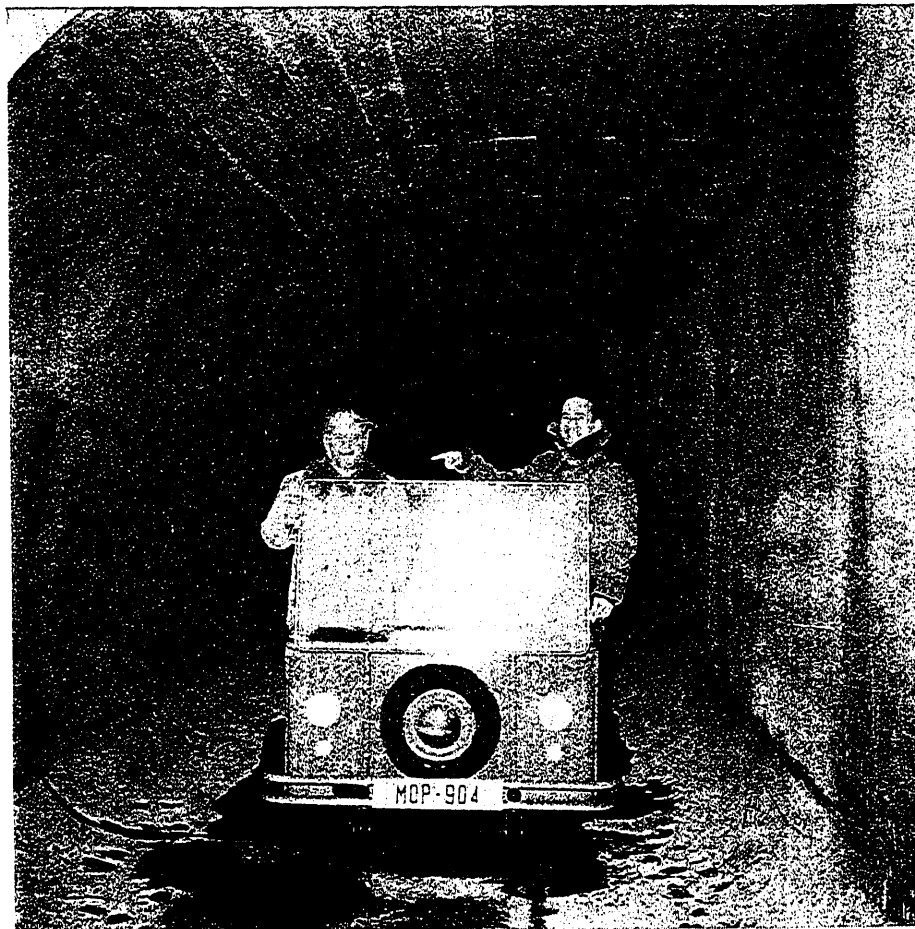


Fig. 15. — Interior del Canal.

La construcción de este tipo de obra era diversa, según la naturaleza del terreno que había de atravesar: Si éste tenía la suficiente resistencia, se hacía la excavación a plena sección, empleando voladuras, que arrancaban de un cuele central piramidal, complementándose con los tiros necesarios para completar toda la sección exterior del acueducto. De esta forma se excavaba toda la longitud del túnel a que efectaba este tipo de terreno, tardándose incluso meses en realizar su correspondiente revestimiento

Si el terreno era de resistencia media, aunque se hacía análogamente la excavación a plena sección, el revestimiento se llevaba a cabo en un plazo relativamente corto.

Por último, cuando se trataba de terreno de fuerte empuje, era necesario proceder a una entibación de consideración, que se iniciaba con una serie de cuadros instalados a distancia de 1,25 m. y de la altura total de la sección, continuando la excavación mediante la colocación de longarinas madres, primeras y segundas, no siendo necesario llegar a terceras más que en casos excepcionales.

En los túneles donde se produjeron filtraciones de importancia, se conducían todas ellas a través de un dren situado generalmente en el centro de la solera y consistente en un tubo perforado con una serie de orificios que las conducían al exterior.

En cuanto a la ventilación de los túneles de más de 300 m., se realizaba por una tubería de 300 mm. de diámetro, y su correspondiente ventilador, situado en el exterior, en las bocas de entrada y salida, trabajando siempre en régimen de extracción.

Normalmente, el trabajo de excavación se efectuaba mediante dos tajos situados en las bocas de entrada y salida, salvo en aquellos en que la longitud y topografía del terreno permitía ventanas de ataque intermedias. Los productos de la excavación se cargaban con palas neumáticas sobre vagonetas que marchaban sobre vías consistentes en carriles de 10 Kg./m. l. instaladas en toda su longitud. Se trabajaba en tres turnos y cada tajo y turno estaba constituido por

un jefe de equipo, dos mineros y cuatro o cinco escombreros.

Los túneles excavados en pizarras silurianas fueron los que dieron lugar a mayores complicaciones, pues se hizo en muchos de ellos necesaria una dotación de 5,5 Kg./m.³ de dinamita, dada la naturaleza de la roca, y en otros, la presencia de agua en cantidades considerables y de arcilla mezclada entre las diferentes capas de pizarra, ocasionó desprendimientos de importancia, que obligaron en diversas ocasiones a interrupciones e incluso suspensiones de los tajos.

Hay que hacer destacar las dificultades extraordinarias ocasionadas en la perforación del túnel número 4, de 700 m. de longitud, tanto en la boca de entrada, que obligó a ejecutar anillos de revestimiento inmeditamente después de la excavación, hasta 1,25 m. de longitud, como en la boca de salida, donde, no obstante haber realizado la entibación los mejores especialistas en esta clase de trabajos, y debido a un desprendimiento de una bolsada de agua alojada en el trasdós de la bóveda, originó tal presión sobre la madera de aquella entibación que produjo su ruina y consiguientes hundimientos, con tan mala fortuna que sepultó a una cuadrilla entera, que estaba instalando la mencionada entibación, ocasionando la muerte a dos trabajadores y la incomunicación en el fondo de la galería de avance del capataz, al cual se pudo sacar con vida al cabo de doce horas de trabajos ininterrumpidos.

Por cierto que este capataz había tenido cinco años antes otro percance parecido en el ferrocarril Zamora-La Coruña, y a los pocos días de salvado de este modo, y al preguntar por él en una de mis visitas a las obras, me dijeron que estaba trabajando en otro túnel.

Todos los túneles, excavados a través de estas pizarras silurianas descompuestas, eran inyectados a continuación de su hormigonado, llegando a alcanzar estas inyecciones una intensidad de 200 Kg./m. l. de cemento.

En cuanto a las obras correspondientes a *canal a cielo abierto*, en varios tramos fueron provistas de drenajes especiales, para evitar que la presión ejercida por las tierras apisonadas

podiera afectar al canal durante su explotación. Dada la pendiente extraordinaria, en general, de la ladera por la que discurre aquél, sólo en contadas ocasiones se podía recurrir a la utilización de máquinas excavadoras o bulldozers, y en la mayoría de los casos hubo que efectuar la excavación exclusivamente con explosivos y vía Decauville.

Se empleaban barrenos a profundidades distintas, según aconsejaba la naturaleza del terreno, con un consumo de dinamita de 1,100 kilogramos metro cúbico. Los productos de la excavación eran cargados en vagonetas y transportados a vertedero a través de una ventana excavada al efecto, y como las laderas eran de gran pendiente, prácticamente no hubo problemas para encontrar la escombrera necesaria a fin de verter los productos.

REVESTIMIENTO.

Canal a cielo abierto. — El revestimiento se ejecutaba en dos fases: Primero la bóveda y cajeros, mediante hormigoneras emplazadas en la ladera, que con canaletas situadas en su parte inferior, iban depositando el hormigón sobre el encofrado, que consistía en cerchas metálicas dispuestas a 1,25 m. de distancia entre ejes, y cuchís de madera (tabloncillos de 5 cm. de es-

Fig. 17. — Construcción de un acueducto

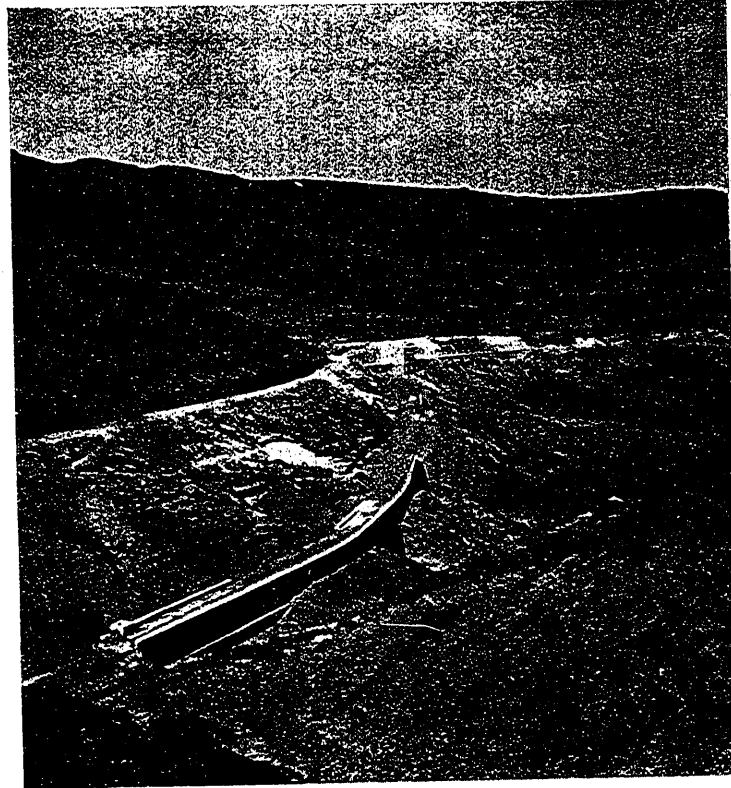


Fig. 16. -- Tramo de Canal a cielo abierto.

pesor). De esta forma se llegaban a hormigonar anillos ininterrumpidamente entre 5 a 14 m. de longitud. El revestimiento era en todo momento vibrado, con dos pervibradores neumáticos de 10 000 oscilaciones por minuto, situados en cada tajo.

Concluido el hormigonado del cajero y bóveda, se procedía a realizar el de la solera, para lo cual se dejaron orificios en la bóveda de unos 40×40 cm., distanciados 50 m. entre sí, por los que se introducía el hormigón, llevándose a cabo tramos diarios de 20 a 50 m. de longitud, que análogamente se vibraban en toda su anchura.

Revestimiento de túneles. — Se utilizaba el mismo tipo de encofrado que el empleado en trinchera, aunque la longitud de cada anillo oscilaba entre 1,25 y 5 m., ejecutándose ininterrumpidamente.

Se fabricaba el hormigón en el exterior, en las bocas de entrada y salida, transportándose al interior mediante vagonetas.



Fig. 18. — Acueducto de El Partenón, 2.ª Sección.

El hormigón se colocaba a mano sobre los encofrados, considerando el pequeño volumen diario a ejecutar, ya que no resultaba práctico el sistema mecánico. Toda la masa del revestimiento se vibraba, por el mismo procedimiento descrito para el canal a cielo abierto, y una vez realizada la bóveda y cajeros del canal en túnel, se procedía a la ejecución de la solera, por tramos de 20 a 50 metros.

Los *acueductos* (figs. 16, 17, 18 y 19) fueron en su mayoría cimentados en roca, salvo en los tramos en que, por carecer de ella, se profundizaba la excavación hasta hallar un terreno lo suficientemente resistente. Se completaron dichos acueductos con los correspondientes arcos de acompañamiento, hasta conseguir un terreno fuerte en toda la solera, para iniciar la sección en canal propiamente dicha. Como es lógico, se aprovecharon las pizarras o calizas existentes en las inmediaciones de los diferentes tajos para realizar la mampostería de las superficies exteriores, aristas, impostas y frentes de arcos, y en cuanto a la sillería, se utilizó la caliza de las canteras de la región.

El hormigonado del revestimiento de la sección en acueducto, se ejecutó sirviendo de encofrado la mampostería exterior, previamente construída, lográndose, de esta forma, una perfecta unión de ambas fábricas.

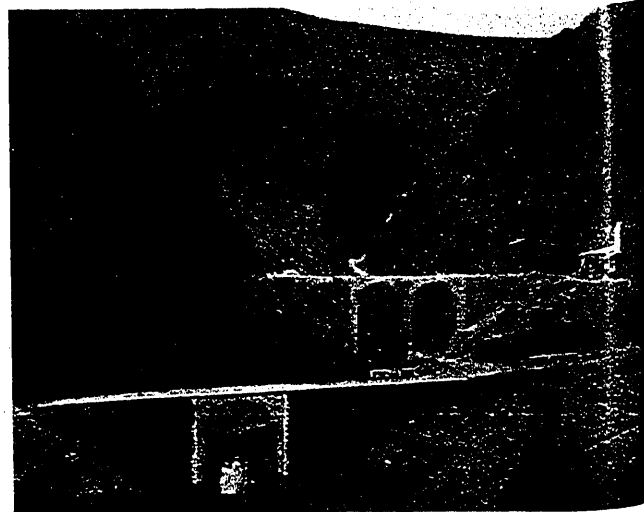
Para conseguir los 3 000 obreros que fueron

precisos para el período de máxima aceleración de las obras, hubo que recurrir a tres tipos de productores, a saber: Los que vivían en los pueblos inmediatos a la traza del canal, que acudían a los tajos por sus propios medios; otros que se llevaban a aquéllos mediante camiones, desde pueblos situados hasta a 60 Km. de distancia y, por último, fué preciso emplear a numerosísimos "carrilanos", obreros de las más alejadas regiones de España, tales como Galicia, Extremadura, etcétera, que vivían a pie de obra, y para los cuales hubo que habilitar más de 15 locales-albergue. De esta forma, puede decirse que no ha habido región de España que no haya contribuído con trabajadores para la construcción del Canal del Jarama.

No obstante haberse tomado toda suerte de precauciones para evitar accidentes, hubo que lamentar la muerte de varios obreros en dichas obras, la mayoría por desprendimientos, aunque también se registraron varios casos de imprudencia temeraria, como electrocutamientos, atropellos por vagonetas, caídas, etc. Una sencilla lápida colocada en la cámara de válvulas, perpetúa los nombres de aquellos obreros que han perdido su vida por la ampliación del abastecimiento de aguas a Madrid.

Respecto a la maquinaria, dada la época en que se realizaron estas obras, era grande la di-

Fig. 19. — Conjunto de Camino de Servicio y Canal. — Barranco de El Corcovado, 1.ª Sección.



ficultad para su obtención en la cantidad necesaria, teniendo en cuenta el número de túneles y la sección de los mismos, por lo que hubo que hacer gran parte de los trabajos por sistemas que pudiéramos calificar de "faraónicos", pudiéndose contar únicamente en los períodos álgidos con 5 ó 6 máquinas grandes de movimiento de tierras.

No ocurrió lo mismo, por lo que se refiere a compresores, ya que prácticamente en los 70 tajos de la obra, en que ésta llegó a dividirse, en los períodos de aceleración, había por lo menos un compresor con sus martillos perforadores y picadores correspondientes, lo que dió como resultado el que los HP. instalados llegarán a ser 3 por cada hombre, y en los túneles existían, además, en casi todos los frentes de trabajo, una pala cargadora neumática del tipo pequeño.

El suministro de cemento experimentó serias dificultades en distintas épocas, teniendo que llegar a recurrir a las fábricas establecidas en Buñol, Olazagutía, Alfa y Toral de Vado, ya que el suministro más próximo de las fábricas de Valderrivas y Morata era insuficiente. El transporte de este material se efectuó en muchas ocasiones por ferrocarril, en composiciones de 300 Tm. y otras veces en camiones trailers de 30 Tm.

Como puede verse en el gráfico de la figura 3.ª, las obras comenzaron el 25 de marzo de 1956, terminándose satisfactoriamente el 23 de junio de 1961, es decir, que se realizaron en cinco años y tres meses (1 540 días útiles), siendo la fecha de paso del agua la del 7 de mayo de 1960, con un período de aceleración máxima comprendido entre 1.º de enero de 1959 y 1.º de mayo de 1960.

Se excavaron 587 000 m.³, de los cuales corresponden 387 000 a canal a cielo abierto y 200 000 en túnel.

En cuanto a los jornales invertidos, fueron de 2 280 000, trabajando una media diaria de 1 480 obreros y una máxima, también diaria en dicho período de aceleración, de 3 000.

El volumen del hormigón de revestimiento empleado fué de 162 000 m.³, consumiéndose

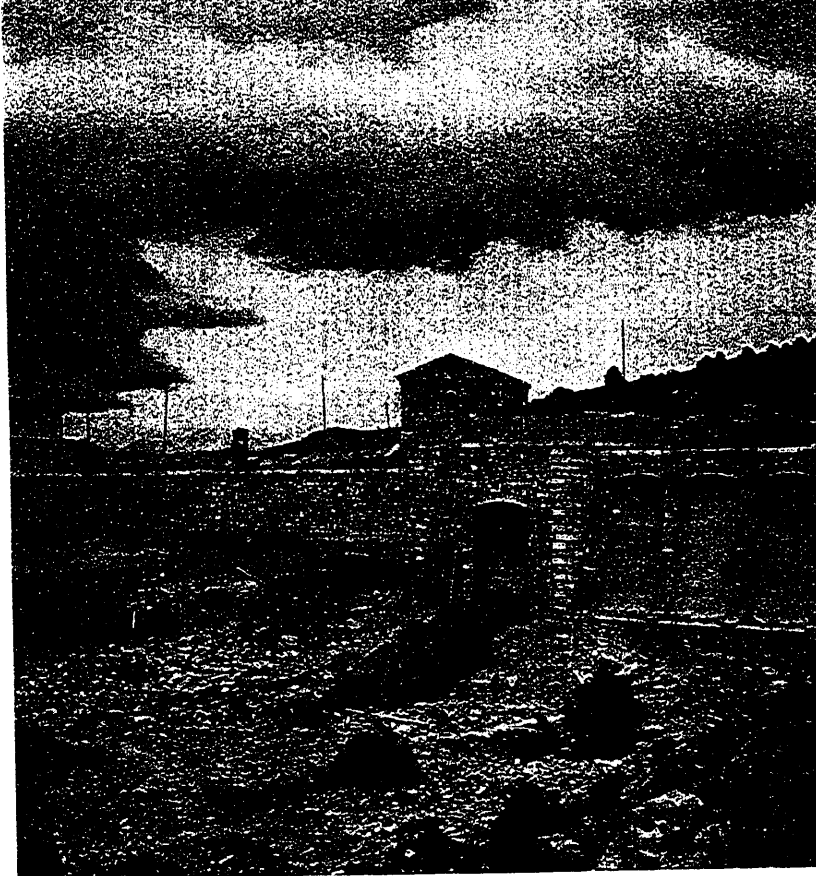


Fig. 20. — Obra de Enlace.
Final del Canal del Jarama.

76 500 Tm. de cemento, 3 400 Tm. de chapa de palastro para las tuberías, importando el total de los trabajos 570 000 000 de pesetas (17 000 000 pesetas/Km., en números redondos).

La explotación.

Si consideramos, por ejemplo, la campaña de 1961, en ella se inició el abastecimiento de Madrid con agua procedente del río Jarama, el 12 de abril hasta el 30 de septiembre del mismo año, siendo el volumen de agua aportada de 61 560 000 m.³, es decir, un 55 por 100 de los 113 180 320 m.³ de consumo total de la capital en este período.

Durante el mismo se realizaron una serie de observaciones y aforos, que nos permiten deducir algunas consecuencias, y que completadas y comprobadas en las campañas siguientes de 1962 y

1963, nos han servido para el estudio del régimen de funcionamiento de tan importante acueducto.

Después de detenidas observaciones, se ha comprobado que es necesaria una carga de 6,70 metros por encima del eje de la toma baja, para que con las dos tuberías a plena apertura de sus válvulas, se pudiera extraer un caudal de 8 metros cúbicos/segundo, que coincide sensiblemente con los datos teóricos supuestos.

Para la determinación de la capacidad máxima del acueducto, se hicieron varias experiencias, haciendo oscilar la lámina de agua entre 1,63 y 2,83 m., observándose que prácticamente, y coincidiendo con el cálculo teórico, aquella es de 8 m.³/seg., ya que al aumentar este caudal vierte el agua por los aliviaderos

Para aforar el agua en el origen de la conducción, se ha construido una estación de aforos, denominada J₁-“Corcovado”, perfectamente calibrada y experimentada, y además un vertedero en el origen, provisto de limnómetro, que permite medir el espesor de la lámina vertiente. Este aparato es de vasos comunicantes y flotador, y se ha logrado instalarlo en tal forma, que se amortiguan los efectos del oleaje, leyéndose con toda precisión y estabilidad el espesor de aquella.

Se ha observado la influencia de la velocidad inicial o de llegada, dependiente de la altura del embalse, en el caudal que pasa por el vertedero, para un espesor de lámina constante. Para embalse casi lleno, cuando las oscilaciones del nivel son pequeñas, la velocidad inicial es prácticamente constante, la curva característica del vertedero obtenida coincide casi exactamente con la teórica del Proyecto.

Aliviadero de los sifones. — Dichos aliviaderos se construyeron aguas arriba de la cámara de entrada de los diversos sifones, a 2,90 m. sobre la solera del canal, quedando 0,30 m. de resguardo, suficiente para evitar la puesta en carga de la conducción.

Para el máximo caudal medido en régimen normal, $Q = 7,968$ m.³/seg., prácticamente los

8 m.³/seg. de capacidad máxima del canal, tenemos:

S I F O N E S	Pérdidas de carga	
	Calculadas	Efectivas
Valdesotos	1,39	1,35
Tortuero	0,85	0,70
Pontón	4,00	3,70
Valdentaes	1,59	1,31
Hocino	0,72	0,40
Las Cuevas	1,20	0,78
Patones	0,96	0,68
San Román	1,57	1,13
Mortero	0,69	0,45
Matachivos	0,99	0,81

Resumiendo, las ideas expuestas con motivo de las diferentes observaciones realizadas en la explotación, el caudal máximo circulado por el canal durante las mencionadas campañas en que ha abastecido a Madrid, en 1960, 1961, 1962 y 1963, coincide casi exactamente con la capacidad máxima teórica calculada (8 m.³/seg.).

Hay que hacer observar, como ya dijimos al principio del artículo, que al sustituir la fábrica del enlucido del revestimiento por hormigón vibrado, empeoró el coeficiente de rozamiento, razón por la cual resultan aquellas dos capacidades de que hemos hablado, teórica y real, prácticamente iguales, sin la salvaguarda de 1 m.³/seg. más que hubiera subsistido, de prevalecer el enlucido en la sección transversal del canal.

Por lo que se refiere a los sifones, sucede lo contrario de lo comentado con respecto a los tramos de canal a cielo abierto y en túnel, ya que al ser sustituidas las fábricas de sus tuberías del tipo “Bonna” por otras de chapa de palastro electrosoldadas, mejoró notablemente el coeficiente de rozamiento, lo que hace posible que los sifones sean capaces de conducir mucho más caudal.

El ritmo extraordinario imprimido a los trabajos en la obra de tal trascendencia y responsabilidad, ejecutada sin menoscabo de la calidad de las fábricas que la integran, obligó a una asiduidad continuada e ininterrumpida de la inspección y vigilancia de los numerosísimos tajos de trabajo establecidos, concretamente más de 60 de hormigonado, a lo largo de los 35 ki-

lómetros de la conducción, en los que han intervenido cerca de 3 000 obreros en ritmo de tres turnos diarios, durante prácticamente la totalidad del período de aceleración, es decir: Todos los meses de 1959 y los cuatro primeros de 1960, luchando con toda clase de adversidades, entre las que merecen citarse los desprendimientos ocurridos en los túneles 2, 4, 7, 13, 16 y 31, perforados la mayoría en pizarra descompuesta, circunstancias superadas ampliamente por las Empresas adjudicatarias, que me complazco en relacionar aquí: "M.Z.O.V." y "A.M., S. A.", para el canal propiamente dicho, y "Entrecanales y Távora" y "Tubos Bonna, S. A.", para los sifones.

A pesar de todos los contratiempos y dificultades esbozados, unido a tener que resolver sobre la marcha problemas constructivos de todo orden, para no demorar los trabajos, se consiguió que a partir del 7 de mayo de 1960 se abasteciera Madrid con agua procedente de "El Vado", tras un período de pruebas desarrollado desde 1.º de marzo y previa una serie de análisis que hicieron ver, con gran satisfacción, que la cristalinidad y condiciones químicas y bacterioló-

gicas de las aguas del Jarama superaban a las del Lozoya, consideradas hasta ahora como el "desiderátum" de las potables.

De esta forma, 50 000 000 m.³ embalsados en el río Jarama, se han incorporado, incrementando de modo notable la dotación de la capital de España, que de no haber contado con ellos durante los estiajes de los años 1960, 1961 y 1962, hubiera hecho necesario implantar severas restricciones, y además la capacidad del Canal del Villar, cordón umbilical entre los embalses del Lozoya y Madrid, hubiera sido insuficiente para poder conducir los 800 000 m.³ diarios que ha consumido la gran urbe en el último año citado (1).

Como puede verse, se trata de una obra de características y desarrollo totalmente extraordinario, llevada con gran ritmo en su construcción, que ha hecho posible dotar a Madrid de un elemento tan necesario para su desarrollo, cual es el Canal del Alto Jarama.

(*) Realizados unos trabajos de acondicionamiento del canal de "El Villar", éste ha sido capaz de llevar hasta 9,254 m.³/seg., o sea 799 545 m.³/día durante el año 1963.