

LAS NUEVAS ARTERIAS DEL CANAL DE ISABEL II

Por EMILIO LÓPEZ BERGES, Ingeniero de Caminos.

Presenta el autor una síntesis del Proyecto de "Mejora y Ampliación del Abastecimiento de Aguas de Madrid", señalando las características principales y las particularidades constructivas más notables de esta magnífica instalación de nuestra capital, que puede considerarse modelo en su clase.

Las nuevas arterias del Canal de Isabel II constituyen el cuarto Grupo de Obras, "Arterias de Distribución", del Proyecto de "Mejora y Ampliación

del Abastecimiento de Aguas de Madrid", grupo que se subdivide a su vez en seis trozos:

Primer trozo: Arteria del Pacífico.

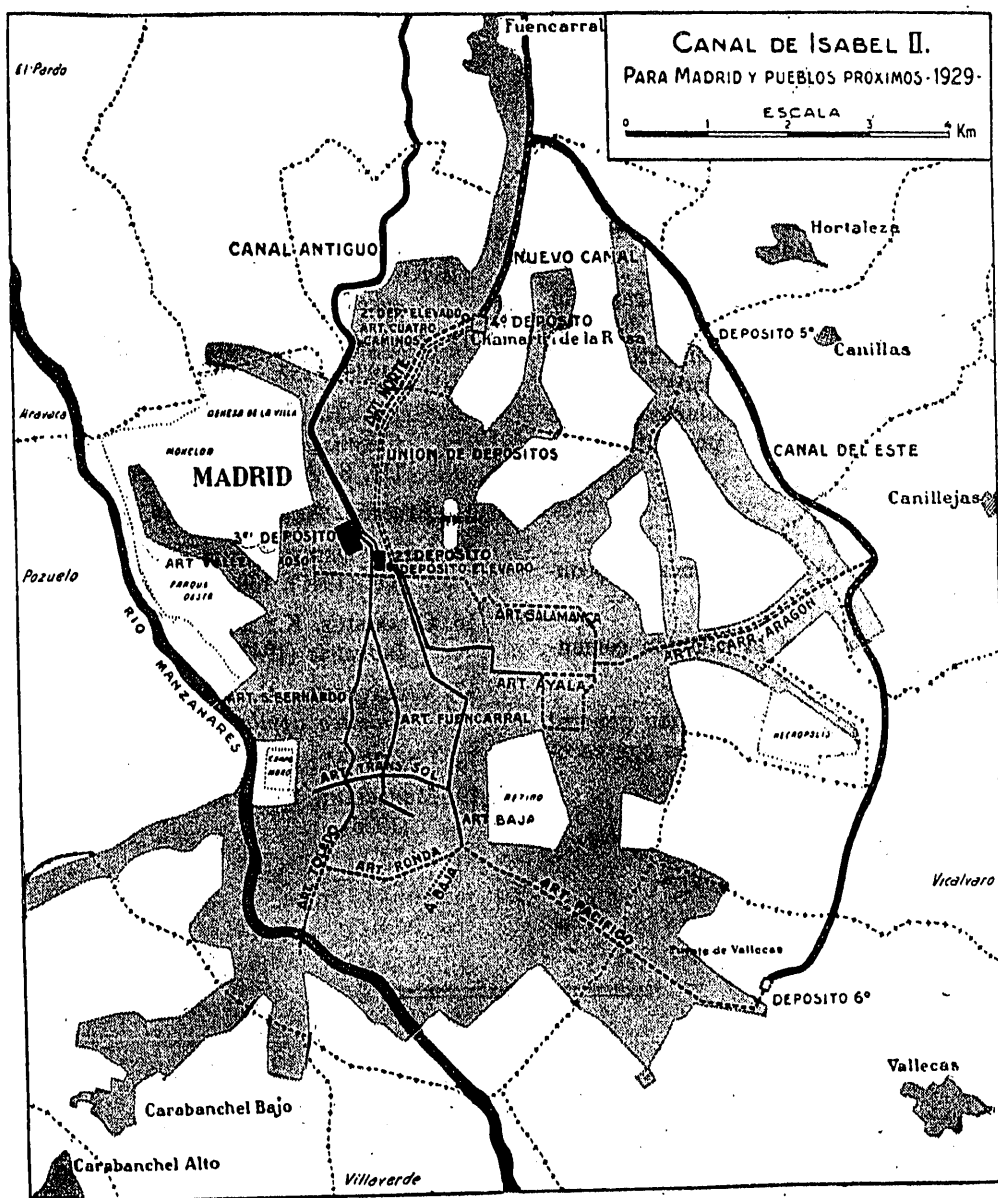


Figura 1.ª

Segundo trozo: Arteria de las Rondas.
Tercer trozo: Arteria de la Carretera de Aragón.
Cuarto trozo: Arteria del Norte.
Quinto trozo: Prolongación de la Arteria de la calle de Toledo.

Sexto trozo: Prolongación de la Arteria de la Carrera de San Jerónimo.

Todas ellas forman parte del notable Proyecto antes citado, suscrito por el Ingeniero de Caminos don Francisco Parrella, con fecha 30 de mayo de 1932.

Características principales.

En el croquis que se acompaña (fig. 1.^a) puede verse la situación, en planta, de los distintos trazados de las nuevas arterias en relación con las anteriores, los depósitos nuevos y antiguos, el canal del Este y la llegada del antiguo y nuevo canal a Madrid.

Las arterias de Aragón y del Pacífico, que tienen su origen, respectivamente, en el canal del Este, en su cruce con la carretera de Aragón y en el sexto depósito en Vallecas, terminan en la cámara de unión con la arteria llamada del Barrio de Salamanca, calle de Montesa, esquina a Don Ramón de la Cruz, la primera, y en la Glorieta de Carlos V (Atocha), donde se une con la nueva arteria de Rondas y la antigua de los Barrios Bajos, la del Pacífico.

La arteria de las Rondas no tiene más misión que

SECCION TIPO de la GALERIA para la ARTERIA del PACIFICO

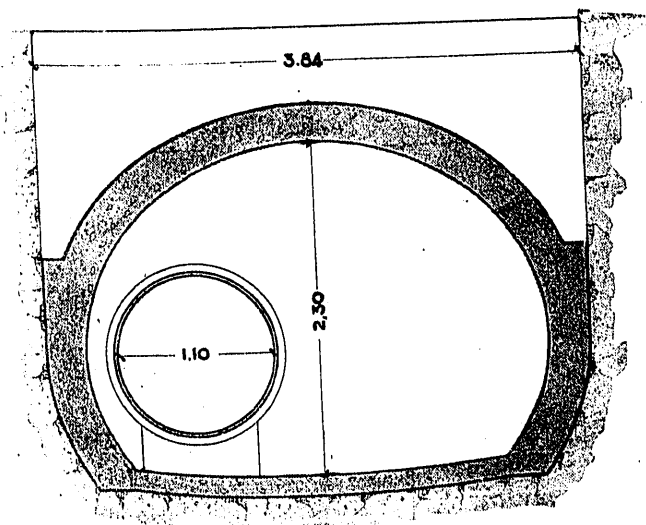


Figura 2.^a

SECCION TIPO de la GALERIA para la ARTERIA de la CARRETERA de ARAGON

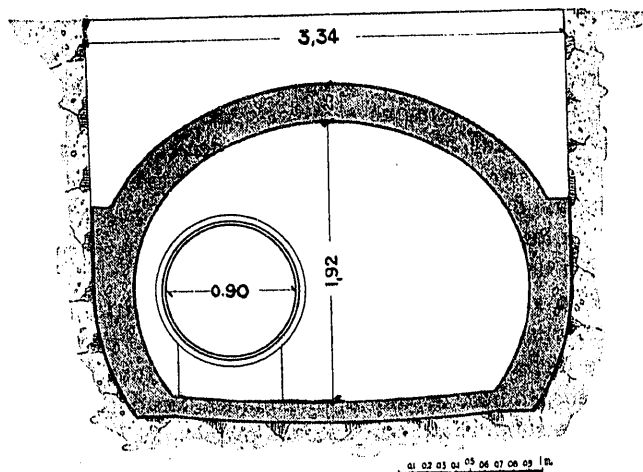


Figura 3.^a

el transvase de la arteria del Pacífico a la de la prolongación de la calle de Toledo, que, como su nombre indica, discurre por la calle del mismo nombre, desde su confluencia con la de Tintoreros hasta la carretera de Madrid a Cádiz, después de cruzar el río Manzanares 40 m. aguas abajo del Puente de Toledo.

La arteria del Norte arranca del cuarto depósito (Chamartín de la Rosa) y termina en la calle de Francos Rodríguez, esquina a la de Bravo Murillo.

Por último, la prolongación de la arteria de la Carrera de San Jerónimo es la continuación de la antigua arteria y se une con la de los Barrios Bajos, enfrente del Hotel Ritz, con la misión de regular presiones en la red, más que para nuevos abastecimientos.

Económicamente, el presupuesto de cada una de las arterias se descompone en cuatro partes, denominadas "Obras de la galería", "Adquisición de tuberías y sus accesorios", "Instalación de tuberías y sus accesorios" y "Presupuesto total". Este último, formado agregando a la suma de los presupuestos de las tres primeras partidas (los presupuestos de las dos primeras son los de contrata, siendo el de la tercera parte de ejecución por Administración), el importe del cemento que entra en las obras, la remuneración por estudios, dirección e inspección facultativa y los gastos de locomoción.

Las galerías de las diferentes arterias son de hormigón en masa, con una dosificación de 270 Kg. de cemento, teniendo su sección la misma forma (ver figuras 2.^a y 3.^a), aunque variando sus dimensiones se-

gún las tuberías de fundición que deben alojar. Aquellos diámetros son: 1,200 m. y 1,100 m. en cada uno de los dos tramos del Pacífico; 0,900 m., en las arterias de las Rondas y Aragón; 0,850 m., 0,800 m. y 0,700 m., en los distintos tramos de la de Toledo; 0,800 m., en la arteria del Norte, y, por último, 0,600 metros, en la de la prolongación de la Carrera de San Jerónimo. Aunque el espacio del interior de la galería permite alojar dos tuberías gemelas, no obstante sólo se dispone una, que, apoyada sobre dados de hormigón, deja el lugar necesario para la colocación de los tubos cuando haya que proceder a la sustitución de los mismos.

Sólo vamos a ocuparnos de la primera parte presupuesta, es decir, de las obras de las galerías propiamente dichas, puesto que la adquisición de tubería ha sido suspendida debido a dificultades surgidas con las casas suministradoras, ante los precios del Proyecto, que aun con los aumentos autorizados resultaban prohibitivos a causa de la elevación de los jornales, materiales, etc., ocasionados por la guerra.

De las arterias antes descritas tienen totalmente terminadas, e incluso recibidas provisionalmente las obras, las galerías de Aragón, Norte y de las Rondas. A la galería de Toledo le falta, puede decirse, únicamente el paso por debajo del río Manzanares, que debía realizarse mediante sección circular armada, para cuya sección incluso estaba realizado el acopio de hierro necesario antes de la guerra de 1936-39, que fué sustraído, y habiendo fallecido el contratista, se ha solicitado la rescisión sin pérdida de fianza, y se procedé a la liquidación de la parte ejecutada, pro-

poniéndose ultimarla por administración. Las obras correspondientes a la galería del Pacífico están ejecutadas en la casi totalidad del tramo desde la Glorieta de Carlos V hasta el Arroyo del Abroñigal, y han quedado también interrumpidas temporalmente por estar pendiente su trazado de la urbanización definitiva y de los planes de la Junta de Reconstrucción de Madrid en las inmediaciones de aquel arroyo. Las obras de la prolongación de la arteria de la Carrera de San Jerónimo no han sido iniciadas, por estar rescindida la contrata a causa de su adaptación a las otras obras y servicios subterráneos del Paseo del Prado.

Creemos interesante presentar un cuadro resumen de las características de cada una de las galerías mencionadas, el cual figura al final de esta página.

Como en el referido cuadro puede verse, el importe global de la obra ejecutada en las cinco arterias es de 5 239 487,98 pesetas. Según se ha indicado, las obras de la prolongación de la arteria de la Carrera de San Jerónimo no se han empezado, siendo las características de su proyecto las siguientes:

Longitud del Proyecto..... 157,80 m.
Presupuesto primitivo de contrata..... 66 343,81 ptas.

Se ilustran dos de las secciones características de las galerías: la del tramo del Pacífico, para alojar tubería de 1,10 m. de ϕ , y la de las de Aragón y Rondas, para tubería de 0,90 m. de ϕ (figs. 2.^a y 3.^a). También se acompaña la fotografía correspondiente a la figura 4.^a, que representa un tramo recto de la galería del Pacífico.

GALERÍA	Longitud del Proyecto — Metros	Presupuesto primitivo — Pesetas	Adicionales — Pesetas	TOTAL — Pesetas	Obra certificada — Pesetas
<i>Pacífico:</i> (Terminada en 1976,42 m.).	4 699,89	2 724 876,84	1 463 712,84	4 188 589,68	1 142 508,69
<i>Rondas:</i> (Terminada)	1 575,58	632 048,42	89 838,74	721 887,16	504 264,19
<i>Aragón:</i> (Terminada)	3 725,86	1 570 232,66	618 266,88	2 188 499,54	1 755 938,27
<i>Toledo:</i> (Terminada en 1706 m.)...	1 934,16	1 304 231,27	274 605,86	1 578 837,13	793 675,35
<i>Norte:</i> (Terminada)	1 883,85	858 650,80	412 037,67	1 270 688,47	1 043 101,48
TOTAL.....		7 090 039,99	2 858 461,99	9 948 501,98	5 239 487,98

Cálculo de estabilidad de la sección transversal de las galerías.

Vamos a exponer el procedimiento seguido para el cálculo de las secciones de las galerías de las diferentes arterias.

Se han hecho las siguientes hipótesis:

Densidad de las tierras = $W = 1800 \text{ Kg./m.}^3$.

Suponiendo una altura media de tierras sobre el trasdós de la bóveda de $h \text{ m.}$, tendremos:

Sobrecarga de tierras = $1800 h \text{ Kg./m.}^2$. A esta sobrecarga se le agrega la de los rodillos de $P \text{ Kg./m.}^2$ y el 25 por 100 de la total; es decir:

Sobrecarga total que se considera actúa en el trasdós de la clave de la galería = $(1800 h + P)$

$$\left(1 + \frac{1}{4}\right) = \frac{5}{4} (1800 h + P) \text{ Kg./m.}^2.$$

Altura de tierras equivalente a la sobrecarga:

$$\frac{\frac{5}{4} (1800 h + P)}{1800} = H \text{ m.}$$

Empuje del terreno por m.^2 :

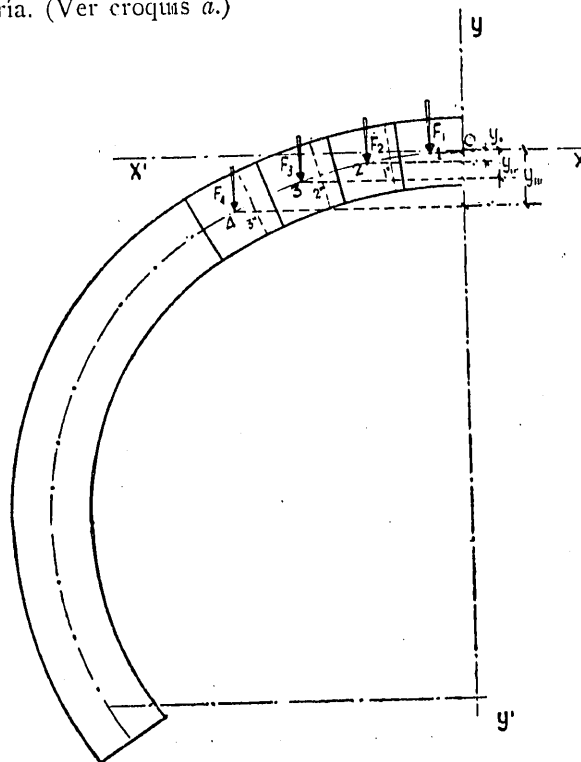
Componente vertical = $g = w H$;

" horizontal = $t = w H \frac{1 - \text{sen. } \varphi}{1 + \text{cos. } \varphi}$.

φ = ángulo de rozamiento de las tierras = 50° .

La sección correspondiente de cada galería se divide en dovelas (ver croquis a), de modo que el giro

producido por el momento unidad, o sea la rigidez, sea constante $\frac{\delta S}{EI}$ ó $\frac{\delta S}{I} = K$ (δS son los segmentos de la fibra media o directriz de la sección de la galería. (Ver croquis a.)



Croquis a.

Para ello empezamos por construir la curva mn , que tiene por abscisas las δS y por ordenadas las I .

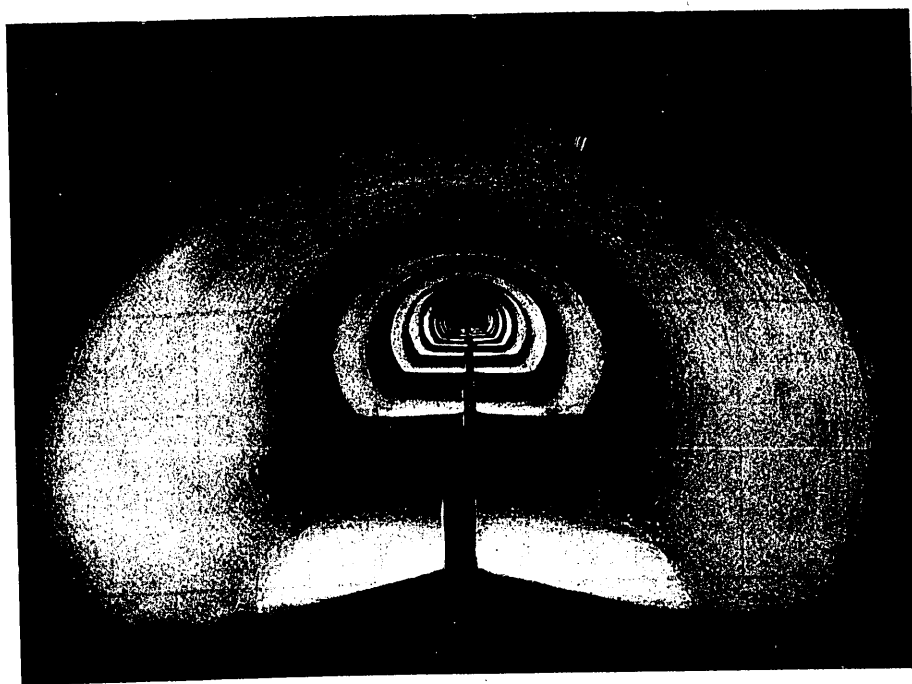


Fig. 4. — Tramo recto, correspondiente a la galería de la arteria del Pacifico.

Por tanto, de aquí podremos deducir los valores de las fuerzas para cada punto.

Puntos	Componente horizontal = $H = T$	Componente vertical = $V = G$	Fuerzas = $F = \sqrt{H^2 + V^2}$
1	—	—	—
2	—	—	—
3	—	—	—
⋮			

Una vez deducidas las fuerzas, determinamos los momentos isostáticos, formando el cuadro siguiente:

Puntos	Y	Y^2	$-M_l$	$-M_d$	$-(M_l + M_d) Y$
1	—	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—
3	—	—	—	—	—
⋮	ΣY	ΣY^2	$\Sigma -M_l$	$\Sigma -M_d$	$\Sigma -(M_l + M_d) Y$

En este cuadro, M_l representa los momentos isostáticos, a la izquierda, y M_d los momentos isostáticos a la derecha de la clave.

Aplicando el teorema de Castigliano, tendremos:

$$I \begin{cases} \int M_l X - \int M_d X + 2 V_0 \int X^2 = 0; \\ \int M_l Y + \int M_d Y + 2 M_0 \int Y + 2 H_0 \int Y^2 = 0; \\ \int M_l + \int M_d + 2 n M_0 + 2 H_0 \int Y = 0. \end{cases}$$

En este sistema de ecuaciones, M_0 , H_0 y V_0 son las reacciones en la clave de la fibra media. Pero como $V_0 = 0$, nos bastarán las dos últimas ecuaciones del sistema I para determinar M_0 y H_0 , después de sustituir las integrales por las Σ correspondientes.

También podemos determinar la excentricidad = $e = \frac{M_0}{H_0}$. Por último, llenaremos el cuadro siguiente:

Juntas	Presiones — Kilogramos		Espesor — Centim.	Excentricidad — Centim.	Cargas normales — Kgs./cm. ²		Cargas tang. — Kgs./cm. ²
	Norm.	Tang.			Maxima	Minima	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	—	—	—	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—	—	—
⋮							

Las columnas (2), (3) y (5) se deducen gráficamente con facilidad.

En cuanto a las columnas (6) y (7), vienen dadas por la fórmula:

$$t = \frac{N}{W} \pm \frac{N e v}{I}; \quad [1]$$

en la cual:

N = presión normal en cada junta;

W = sección en cm.² = $100 d$ (d = espesor de la junta en cm.);

e = excentricidad;

$$v = \frac{d}{2};$$

$$I = \frac{1}{12} d^3;$$

sustituyendo todos estos valores en [1], resulta:

$$t = \frac{N}{100 d} \pm \frac{N e \frac{d}{2}}{\frac{1}{12} 100 d^2} = \frac{N}{100 d} \left(1 \pm \frac{6 N e}{d} \right).$$

Por último, la columna (8) se obtiene dividiendo para cada junta los valores de la columna (3) por $100 d$.

REGISTROS para BAJADA de TUBOS en la ARTERIA de ARAGON TIPO N° 2

TIPO N° 1

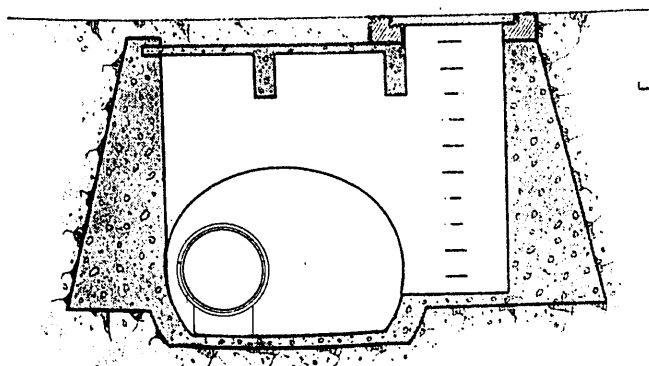


Figura 5.ª

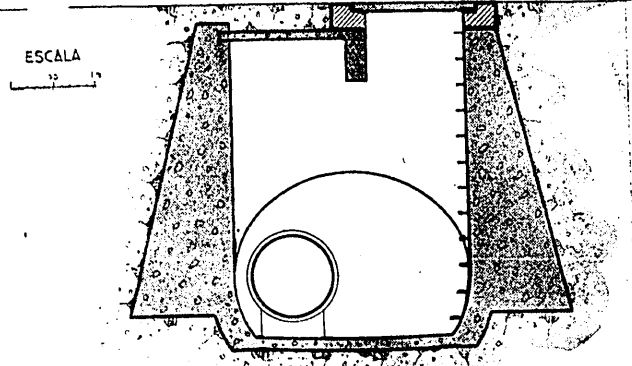


Figura 6.ª

Ejecución de los trabajos, y algunas vicisitudes en el desarrollo de los mismos.

Las obras de las galerías para alojar las tuberías de las distintas arterias fueron adjudicadas mediante subasta-concurso en 1935; aunque varias de éstas se iniciaron en 1936, puede decirse que se han desarrollado con posterioridad a la guerra civil, empezándose prácticamente en el verano de 1939. No obstante las dificultades de todo orden ocasionadas por las circunstancias anormales por las que atravesaba España, agravadas por la actual conflagración mundial, dificultades que trascendían al suministro de los distintos materiales y transportes, calidad de aquéllos, etcétera, etc., las obras se realizaron sin graves tropiezos, a pesar de que en algunos trozos hubo que ejecutar las galerías en terrenos echadizos, que obligaron a armar la solera en ciertas longitudes, como, por ejemplo, en el paso del Abroñigal, en la galería de la arteria de la carretera de Aragón. En todas fué necesario proceder al desvío de cables de conduccio-

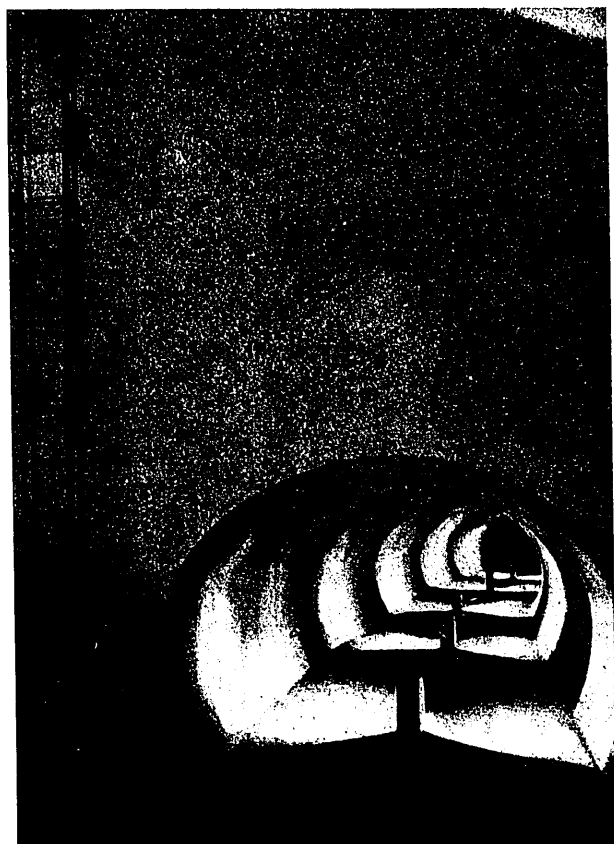


Fig. 7.ª — Registro de bajada de tubos, correspondiente a la arteria de la carretera de Aragón. Detalle de su banqueta o fondo de descarga.

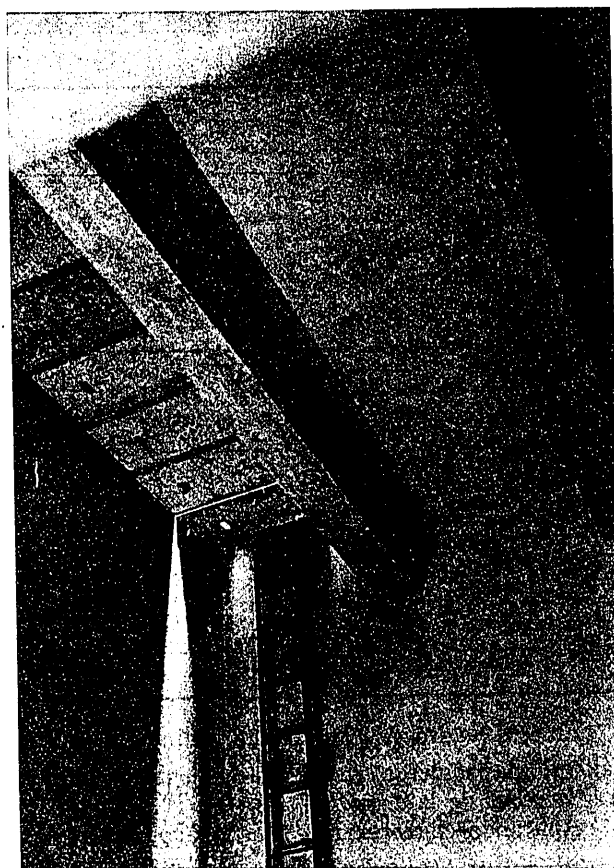


Fig. 8.ª — Registro de bajada de tubos de la fig. 7.ª Detalle de la cubierta.

nes eléctricas y telefónicas, tuberías de abastecimiento de agua y de gas, alcantarillas, colectores, obras antiguas más o menos abandonadas y aun ignoradas, servicios diversos y pasar por debajo de algunos accesos del "Metro", mediante la construcción del oportuno sifón. Otra dificultad consistía en el gran tráfico de alguna de las vías por debajo de las cuales se proyectaban las arterias, así como la estrechez del espacio libre para realizar los trabajos sin estorbar a aquél demasiado, caso de la galería de la carretera de Aragón, en que, siendo mínima la anchura entre el tranvía de la Ciudad Lineal y las fachadas de los edificios laterales de aquella importante vía de penetración de Madrid, hizo necesario el estrechamiento de alguno de los registros de bajada de tubos, modificando en este sentido los proyectados.

En las figuras 5.ª y 6.ª se dibujan dos secciones de los registros normal y estrecho, pertenecientes a la galería de la carretera de Aragón. También acompañamos las fotografías de las figuras 7.ª y 8.ª, en las cuales puede verse uno de estos registros de tipo nor-

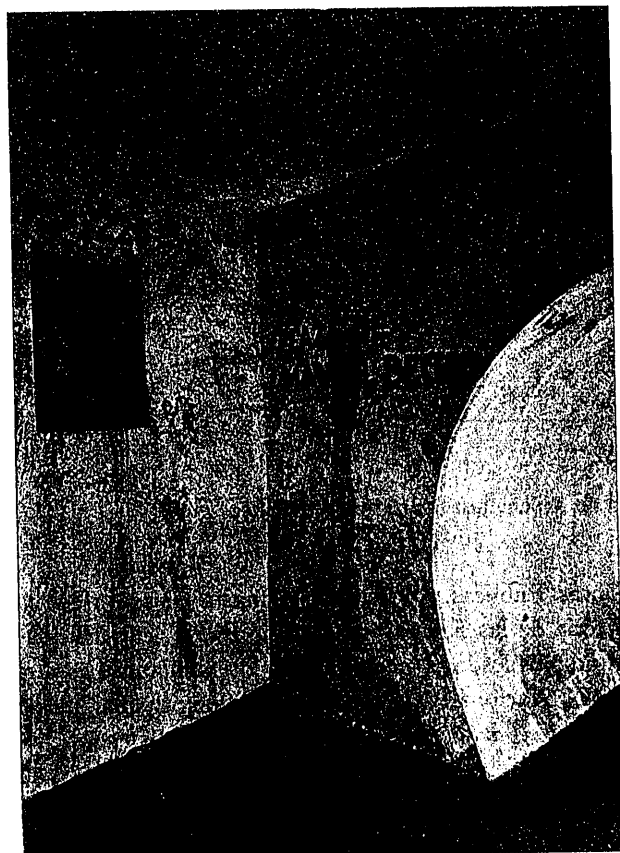


Fig 9.ª — Cámara para toma de la arteria de la carretera de Aragón.

manejo. En algunos se dispone, además, de una especie de garita empotrada en el muro para proteger a los operarios en el caso de caída de un tubo. También se han construido registros de acceso sólo de hombre, ubicados en los lugares adecuados.

En todas las arterias, salvo en la de Rondas — que, como indicamos al principio, sólo sirve de transvase—, se han prevenido y construido las cámaras para alojar tomas y enlaces con las tuberías secundarias de la red en un próximo futuro (fig. 9.ª), colocadas en los cruces con las calles principales del trazado. Así como los desagües en los colectores principales del alcantarillado, Carcabón, Abroñigal, etc., para evitar averías e inundaciones por fugas o roturas.

Cruce de estas galerías, anteriores y modernas, en la Glorieta de Carlos V (Atocha).

Por ser éste uno de los lugares que han presentado mayores dificultades en la ejecución de las obras, y que constituirá en su día punto neurálgico de actuación de la futura red de abastecimiento, puesto que en él se unen las arterias del Pacífico (la de mayor envergadura del Canal por su longitud y diámetro de tuberías, de 1,200 m. desde el 6.º Depósito (Vallecas) al cruce del Abroñigal, y de 1,10 m. desde allí a Atocha), Rondas (tubería de 900 mm.), y la llamada de Barrios Bajos, creemos es interesante, por último, detallar un tanto lo realizado para salvar los inconvenientes encontrados en la referida Glorieta de Carlos V (Atocha).

Acompañamos dos fotografías de esta cámara de

mal. En general, distan unos 400 m. por término medio, estando provistos de andenes laterales, escalas y tapas, constituidas por losas armadas de relativo fácil

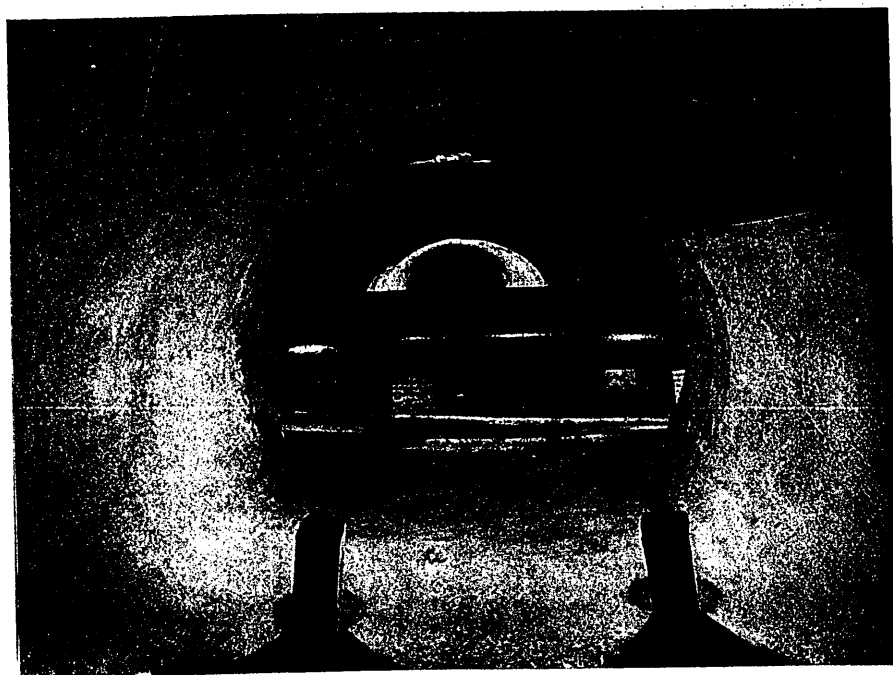


Fig. 10. — Cámara de unión de las arterias del Pacífico, de las Rondas y Barrios Bajos. Vista desde la galería del Pacífico.

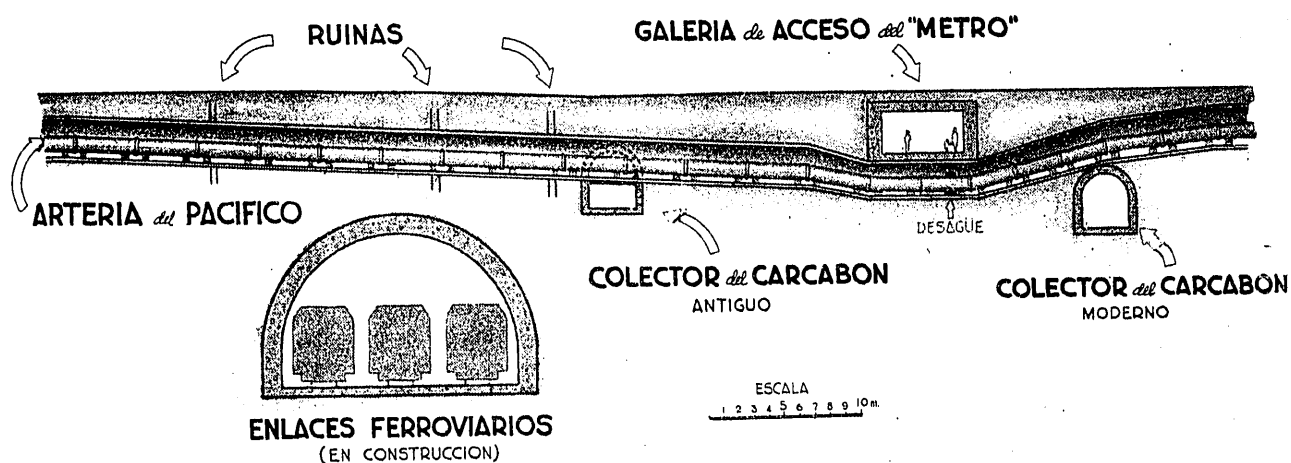


Fig. 13. — Longitudinal del paso de la Glorieta de Atocha por la arteria del Pacífico.

unión. La correspondiente a la figura 10 es una vista desde la galería del Pacífico, en la cual, y al fondo, puede verse la nueva galería de la arteria de las Rondas, y en primer término, a la derecha, el registro para facilitar la maniobra de la futura llave de paso. La tubería que atraviesa la sección de la arteria del Pacífico es la de fundición de 0,90 m. de ϕ , de la antigua arteria, y la fotografía de la figura 11 representa la misma cámara de unión, vista desde la arteria de los Barrios Bajos, estando situada a su izquierda la nueva galería del Pacífico, y a su derecha, la de las Rondas. En la figura 12 puede verse la planta de la arteria desde las proximidades del Ministerio de

Obras Públicas, a la izquierda, hasta su unión con la arteria de las Rondas, y en la figura 13, el perfil longitudinal desde el mismo punto de la planta hasta el Hotel Nacional. Como en este longitudinal puede apreciarse, había que salvar el colector llamado Carcabón antiguo, la galería del acceso del "Metro", el colector que denominamos Carcabón moderno y el ya proyectado y obligado túnel de enlaces ferroviarios. A estos obstáculos hay que agregar la mala calidad del terreno en esta zona, en su mayoría de relleno, y con construcciones abandonadas, el tener que encontrar altura necesaria para salvar el Carcabón antiguo con el desagüe del sifón construido para el cruce inferior

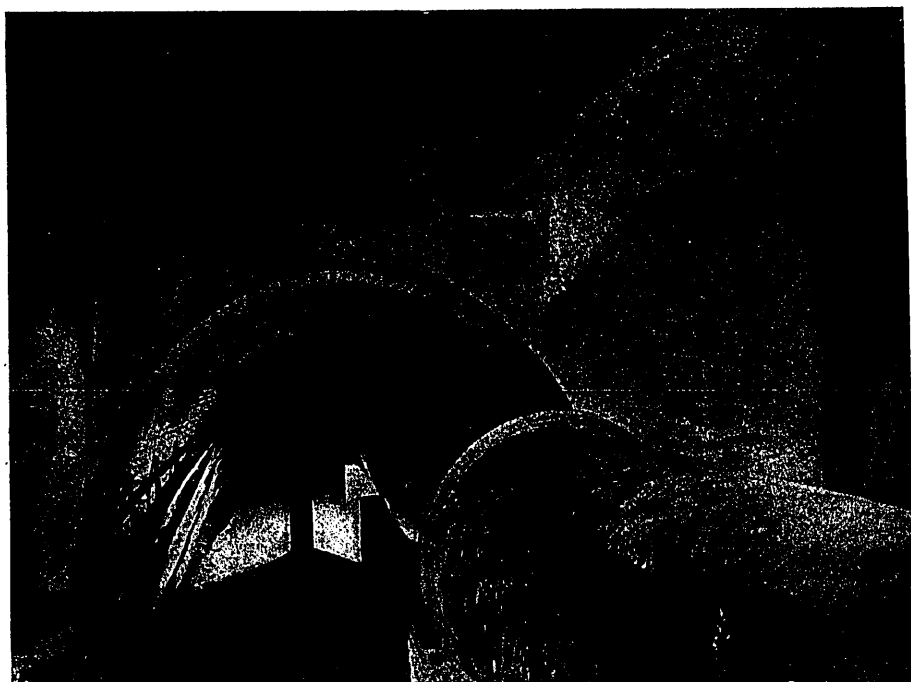


Fig. 11. — Cámara de unión de las arterias del Pacífico, Rondas y Barrios Bajos. Vista desde la arteria de los Barrios Bajos.

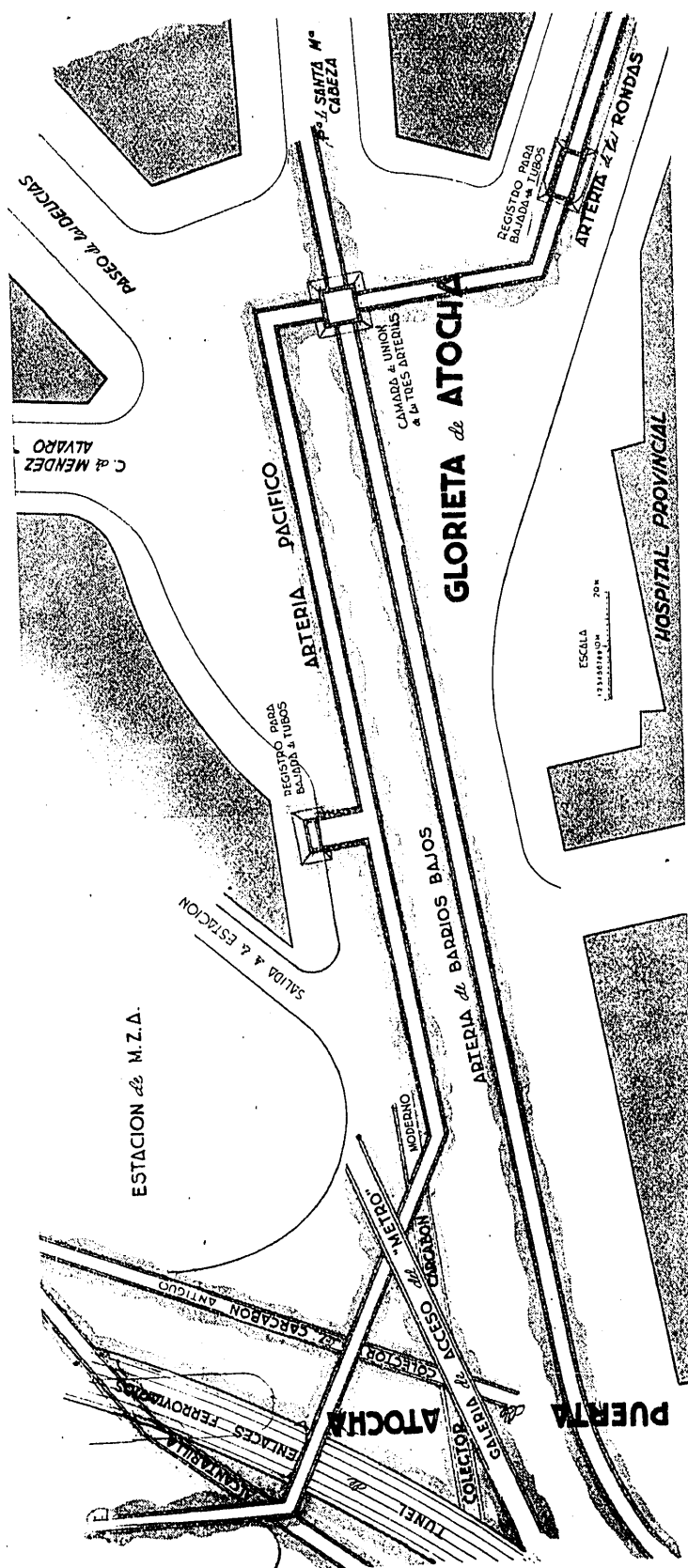


Fig. 12. — Planta del paso de la Glorieta de Atocha por la arteria del Pacifico.

a la galería de acceso del "Metro", y, además, la gran pendiente que la Glorieta tiene en las inmediaciones de la Estación de Atocha impedía aproximar más la traza hacia ésta.

Después de varias tentativas, en las cuales incluso fué necesario acometer la construcción de galerías de pequeña sección, se consideró la solución estudiada como única aceptable y definitiva. Con ella atravesamos el Carcabón antiguo mediante losa armada y disminuyendo su sección, pero dejando desagüe suficiente, pues hay que tener en cuenta que dicho colector no funciona más que como complemento o aliviadero, con objeto de impedir que el Carcabón moderno se ponga en carga. La galería de acceso al "Metro" se pasa mediante el sifón indicado en el referido longitudinal, con un 25 por 100 de pendiente en cada rama, construyendo éstas escalonadas como puede verse en la fotografía de la figura 14. A este sifón se le ha construido en su punto bajo un desagüe hasta el Carcabón antiguo, consistente en una galería de 82 metros de longitud, de cuyo interior se presenta la fotografía de la figura 15. Por último, pasa ajustado y tangente por encima del Carcabón moderno.

La cubierta de la cámara de unión (figs. 10 y 11), consiste esencialmente en forjado y viga en lugar de la losa del Proyecto, variación introducida por el aumento de las dimensiones de la cámara al considerar la unión de las tuberías demasiado rígida, habiendo

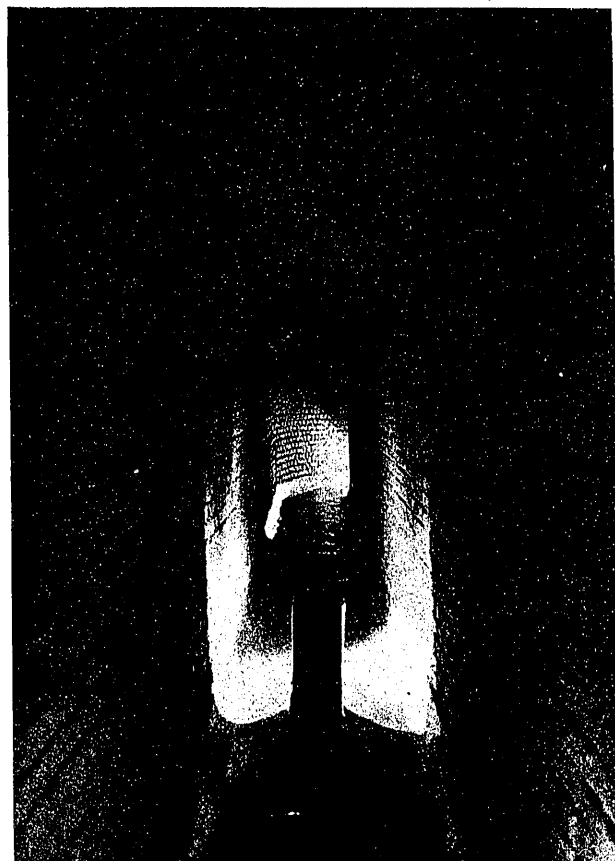


Fig. 15. — Sifón para el cruce inferior a una galería de acceso del «Metro», en Atocha. Desagüe.

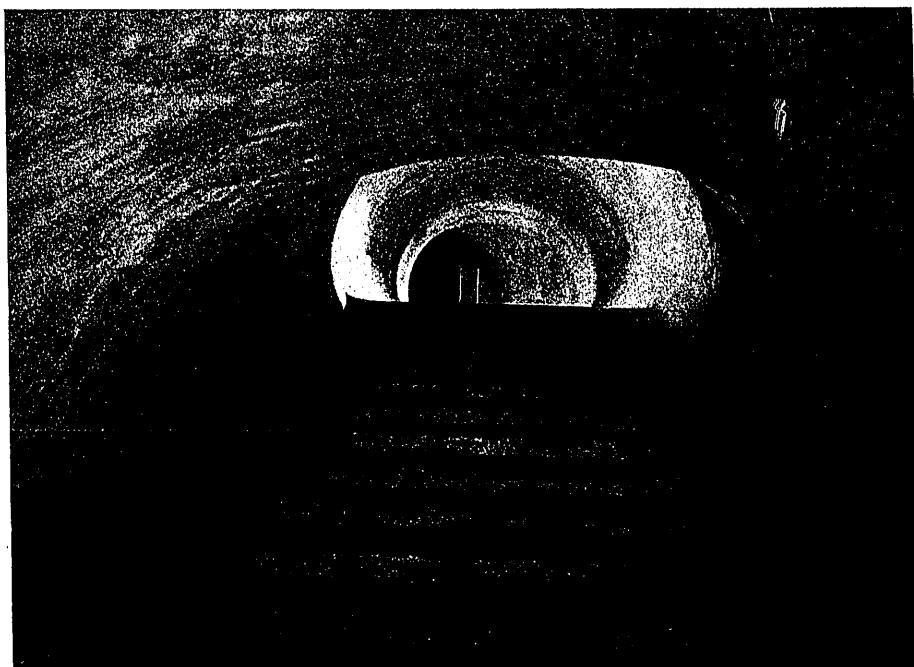


Fig. 14. — Sifón para el cruce inferior a una galería de acceso del «Metro», en Atocha. Detalle del ramal Oeste.

UNION de las ARTERIAS del PACIFICO, RONDAS y BARRIOS BAJOS

SEGUN el PROYECTO

CONSTRUCCION

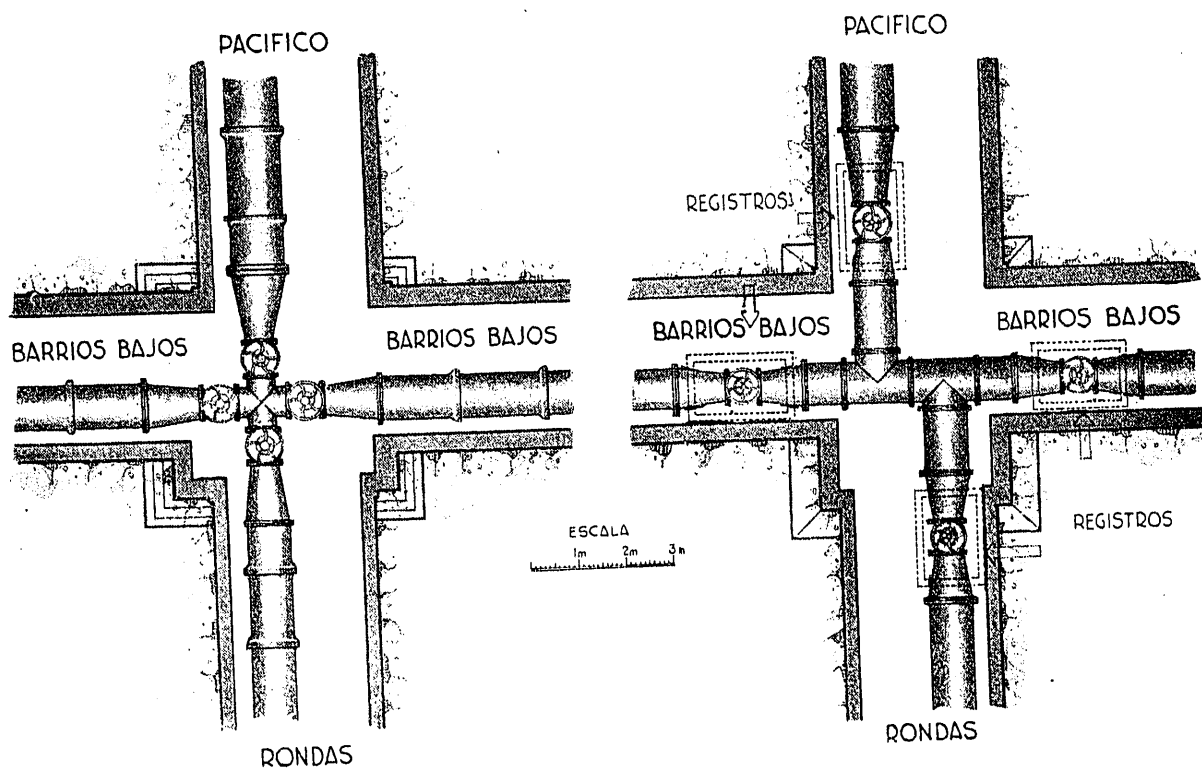


Figura 16.

sido sustituida la única pieza en cruz del proyecto por otra combinación (ver croquis de la fig. 16), mediante la cual se separa más cada una de las llaves, siendo necesario, por tanto, dotarlas de registros para su manejo, independientes en cada arteria, como puede ver-

se en la referida figura. Con esta nueva disposición se tiende a que, en caso de avería, quede ésta más localizada que con el dispositivo de unión de tuberías del Proyecto primitivo. Además, se ha construido una bajada de hombre, independiente.