

Aforos del Duero y sus afluentes Esla y Tormes

Para secundar los deseos de la Dirección de la Sociedad Hispanoportuguesa de Transportes Eléctricos de dar a conocer en la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS los trabajos preliminares que, calladamente hasta ahora, se venían haciendo para la realización de los llamados «Saltos del Duero», voy a dar cuenta de los encomendados al servicio de aforos.

En este primer artículo describiré las obras de instalación realizadas, reservando para otro detallar los trabajos hechos para conocer el régimen de los ríos Duero, Esla y Tormes en la zona de los Saltos proyectados.

I

OBRAS DE INSTALACION

NÚMERO DE ESTACIONES DE AFORO.—Siendo tres los ríos que deben aforarse en los cuiles se proyectan varios embalses, se decidió la instalación de cinco estaciones distribuídas en la forma siguiente:

Estación núm. 1.—Sobre el Duero, aguas arriba de Zamora, cerca de Toro.

Estación núm. 2.—Sobre el Esla, aguas arriba del final del embalse de Ricobayo, cerca de Bretó.

Estación núm. 3.—Sobre el Aliste, afluente del Esla, aguas arriba de la cola del embalse de Ricobayo y frente a Vegalatrave.

Estación núm. 4.—Sobre el Esla, aguas arriba de la presa de Ricobayo y aguas abajo de la desembocadura del Aliste.

Estación núm. 5.—Sobre el Tormes, aguas arriba del final del embalse de Carbellino y en las proximidades de Villamayor.

La figura 1.^a muestra la situación de estas estaciones en relación con los embalses proyectados, y pone de manifiesto que su número es el necesario y suficiente para obtener los caudales que interesan.

La estación núm. 1, denominada Villachica, da los caudales del Duero antes de su unión con el Esla, y como está fuera del embalse, será permanente.

La núm. 2, denominada Bretó, sobre el Esla superior, dará los caudales de éste antes de su confluencia con el Aliste; y la núm. 3, denominada Vegalatrave, los del río Aliste antes de su unión con el Esla.

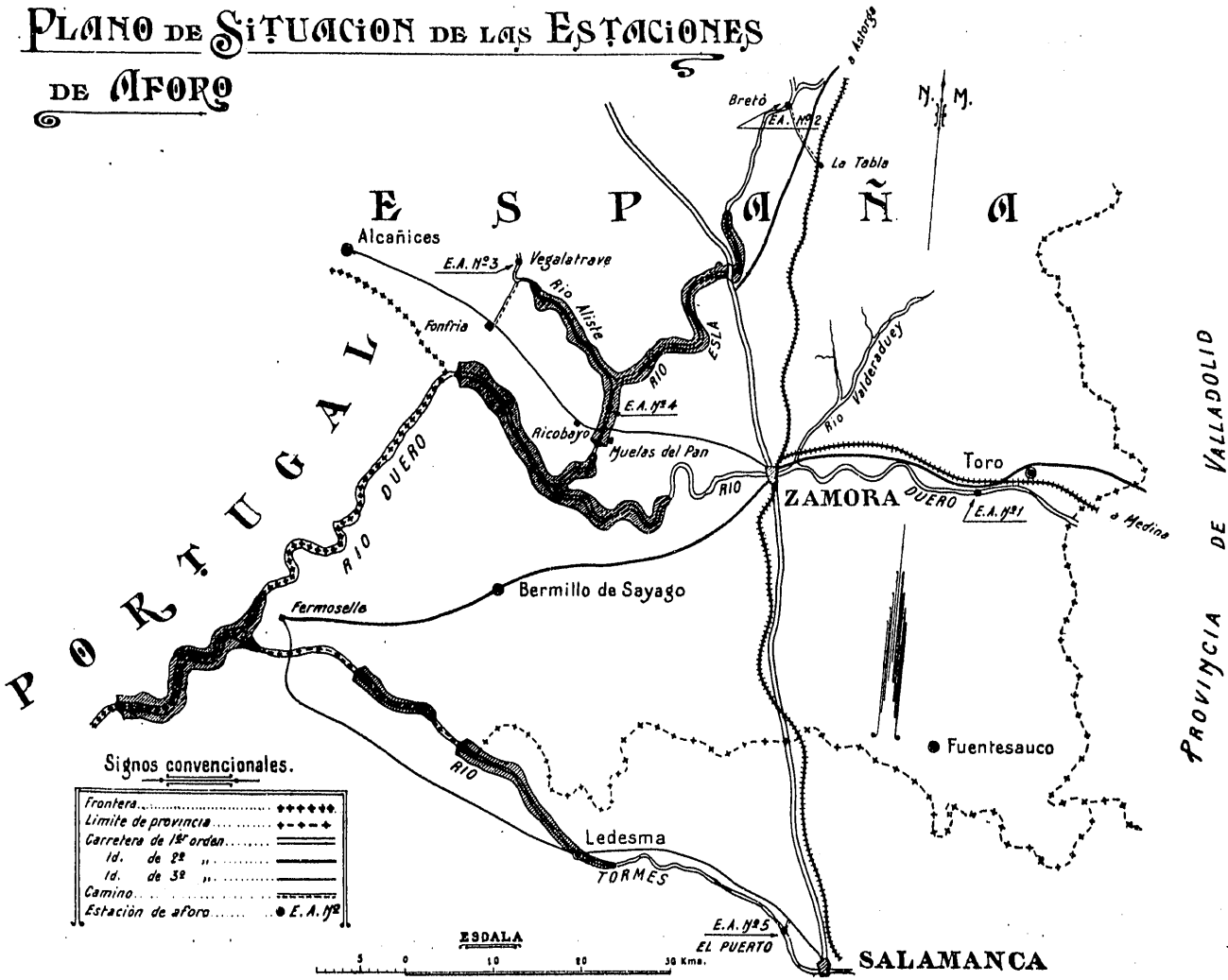


Fig. 1.^a Plano de situación de las Estaciones de Aforo.

La suma de estos dos caudales dará los del Esla, que alimentan el embalse de Ricobayo. Ambas estaciones serán también permanentes.

El embalse del salto de Ricobayo es el de mayor capacidad útil de los proyectados (563,02 millones

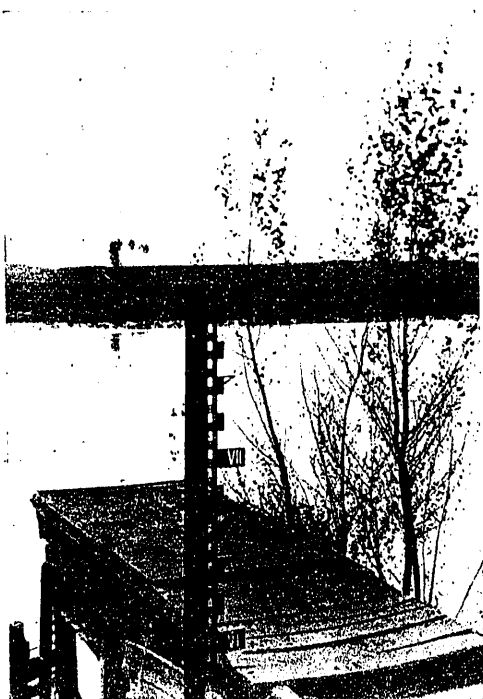


Fig. 2.ª Río Duero. Vista de los limnímetros exteriores (E. A. n.º 1)

de metros cúbicos), y como se construirá primero, importa conocer los caudales que lo han de alimentar.

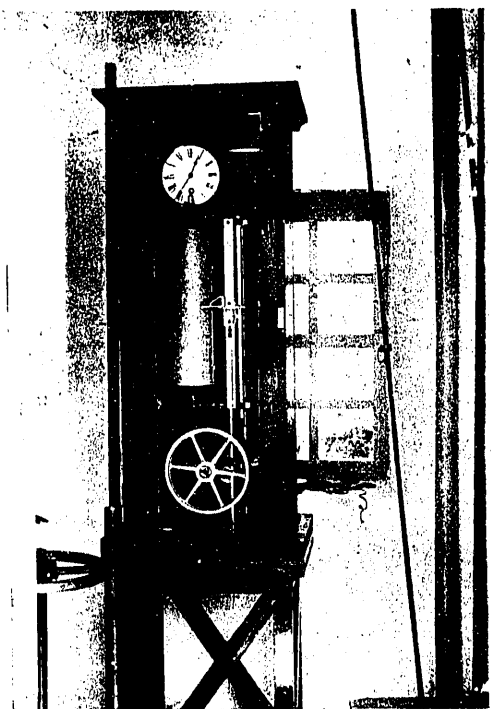


Fig. 3.ª Río Esla. Conjunto de la instalación de la margen derecha (E. A. n.º 4)

Para lograrlo, se ha instalado temporalmente la estación núm. 4, denominada Muelas. Las sumas aforadas en las estaciones 2 y 3 darán, sensiblemente, los aforos de la núm. 4.

Los caudales que alimentan el embalse de Villardiagua, en el Duero, serán las sumas de los de las estaciones 1 y 4, ó 1, 2 y 3.

La estación núm. 5, denominada Salamanca, aún no terminada, sobre el río Tormes, dará los caudales de éste antes del embalse de Carbellino, y sumados a los de las 1 y 4 ó 1, 2 y 3, los de alimentación del embalse inferior del Duero o de Aldeadávila.

Así, con cuatro estaciones permanentes y una temporal, basta para conocer el régimen de los ríos Duero, Esla y Tormes cerca de los embalses proyectados.

TIPO DE LAS ESTACIONES DE AFORO.—Fijados el número y situación de las estaciones de aforo, la importancia de los cursos de agua determina el empleo de molinetes, que dan resultados bastante exactos, ya que los demás procedimientos conocidos (vertederos, orificios, etc.) resultarían antieconómicos.



Fig. 4.ª Río Esla. Limnógrafo interior de la caseta (E. A. n.º 4)

SECCIONES DE AFORO.—Se han elegido donde los cauces son regulares, sensiblemente rectos, fuera de los remansos de presas existentes, alejadas de isletas, para que la corriente principal no sufra desvíos importantes, haciéndose al efecto las obras de regularización necesarias en las márgenes y fondo.

Se ha procurado que tengan fácil acceso, para trasladarse a ellas rápida y económicamente desde los puntos de residencia del personal encargado de los aforos. En la estación provisional núm. 4 ha sido preciso construir un trozo de camino, con la máxima economía.

ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN LAS ESTACIONES DE AFORO.—Excepto la núm. 3, que sólo tiene los dos primeros, constan de los elementos siguientes:

- 1.º Limnímetros para observación de alturas de agua con relación a un punto fijo, cero de la escala.
- 2.º Limnógrafo o registrador de estas alturas con relación al mismo punto fijo.
- 3.º Instalación para el manejo de los molinetes.

Limnímetros.—Se han montado en las estaciones permanentes limnímetros del tipo Epper, metálicos,

fijos a carriles, y en la temporal escalas pintadas sobre tabloncillos de madera fijos también a carriles.

Los limnímetros se han instalado verticalmente, y los ceros de sus escalas están por debajo de los puntos más bajos de los cauces, para que siempre las lecturas resulten positivas, a fin de evitar confusiones.

Cuando se colocan varios limnímetros, se numeran y escalonan en las laderas, de modo que antes de que el agua cubra el más bajo, moje la parte inferior del de arriba.

La fotografía de la figura 2.^a muestra un limnímetro tipo Epper instalado en la estación de Villachica, en el Duero, y en la de la figura 3.^a, que representa un conjunto de las instalaciones de la margen derecha de la estación núm. 4, se aprecia la disposición escalonada de los limnímetros.

Limnigrafos.—Se han instalado en todas las estaciones para obtener las curvas de variación del nivel

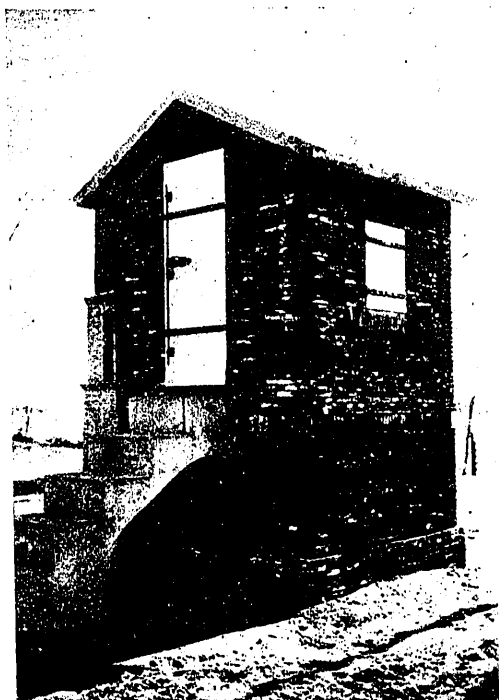


Fig. 5.ª Río Duero. Detalle de la caseta, fachada Norte (E. A. n.º 1)

de los ríos a escalas reducidas, y en cualquier momento las alturas del agua.

Los cinco en servicio son iguales, de la casa A. Ott, de Kempten (Baviera), y la fotografía de la figura 4.^a reproduce el instalado en la estación núm. 4. Constan de un armazón que lleva, en el centro, el cilindro del papel registrador; el reloj en la parte superior; a la derecha, el aparato registrador y la rueda motriz de la que está suspendido el flotador. El aparato registrador, fuera del estilete marcador propiamente dicho, está constituido por un cursor que se mueve sobre una deslizadera, que tiene la graduación limnométrica a escala reducida. El movimiento se transmite por cable, y la reducción por polea de diámetro determinado. El cable del flotador, de níquel puro, se arrolla sobre una rueda de ranura y se mantiene tenso por un contrapeso, que se mueve en el interior del aparato.

Los limnigrafos de las estaciones permanentes admiten las reducciones de escala siguientes: 1/5 y 1/20 y el de la temporal la de 1/40 además.

El estilete marca la curva a voluntad, con lápiz o tinta. Las hojas registradoras tienen cuadrícula horizontal y vertical, para facilitar la lectura de tiem-

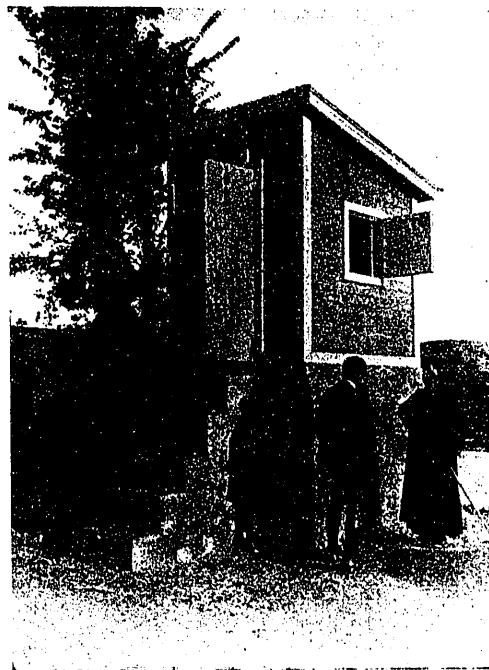


Fig. 6.ª Río Aliste. Caseta del limnigrafo (E. A. n.º 3)

pos y de alturas del agua, y la duración de una vuelta del tambor es de una semana.

Van encerrados los mecanismos en una caja de cristal y madera, y como están en pleno campo, se



Fig. 7.ª Río Duero. Detalle del castillete y amarre de la margen derecha (E. A. n.º 1)

han montado en casetas protectoras, y el cable del flotador, que mueve al cursor, se sumerge en un pozo, que comunica con el río, sobre el que se eleva la caseta.

Los pozos son visitables y contruídos en una de las laderas del río con profundidad y altura tales, que la caseta en que terminan quede fuera de la máximas

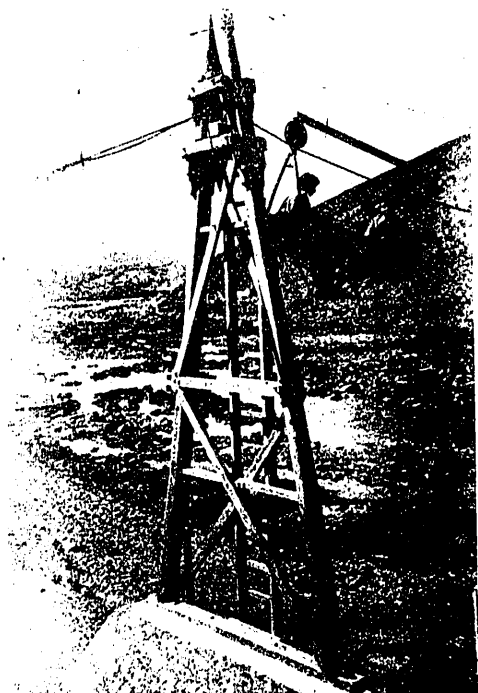


Fig. 8.ª Río Esla. Detalle del castillete y vagoneta (E. A. n.º 4)

avenidas extraordinarias, para obtener el nivel, por muy elevado que sea, y evitar averías en los aparatos.

La comunicación entre los pozos y los ríos se ha establecido con una tubería que desemboca por bajo del nivel mínimo de estiaje, denominada *tubería de verano*, y por otra que, teniendo por fin facilitar las variaciones del nivel en el interior del pozo en épocas

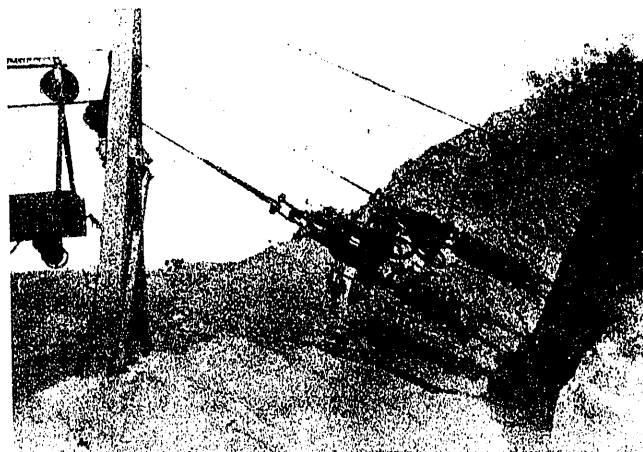


Fig. 9.ª Río Esla. Detalle del castillete, amarre y vagoneta de la margen izquierda (E. A. n.º 2)

de aguas medias y altas, se denomina *tubería de invierno* y desemboca en la ladera a la altura del nivel medio de las aguas ordinarias. Estas tuberías tienen disposiciones que impiden el paso de materiales que las obstruyan, y van protegidas, en su terminación, por bloques de hormigón en masa para evitar los golpes de los materiales arrastrados.

El montaje de estas tuberías se ha hecho abriendo las zanjas necesarias, y en la estación de las Muelas,

perforando también algún trozo de galería horizontal. En la de Veglatrave, la tubería de verano se ha reemplazado por una alcantarilla de mampostería en seco, que comienza en un baden de entrada y termina en un pequeño depósito puesto en comunicación con el pozo del limnógrafo por un tubo de hierro fundido de 50 milímetros de diámetro interior, que atraviesa



Fig. 10. Río Esla. Detalle del tensado de los cables (E. A. n.º 4)

la pared de aquél, y la tubería superior o de invierno está constituída por un tubo de fundición igual al de la de verano.

Las válvulas que abren o cierran el paso del agua por las tuberías de conducción al pozo del limnógrafo se maniobran por barras que terminan en el piso de la caseta; en la fotografía de la figura 4.ª se ve el volante de maniobra de una de estas válvulas, cuyo

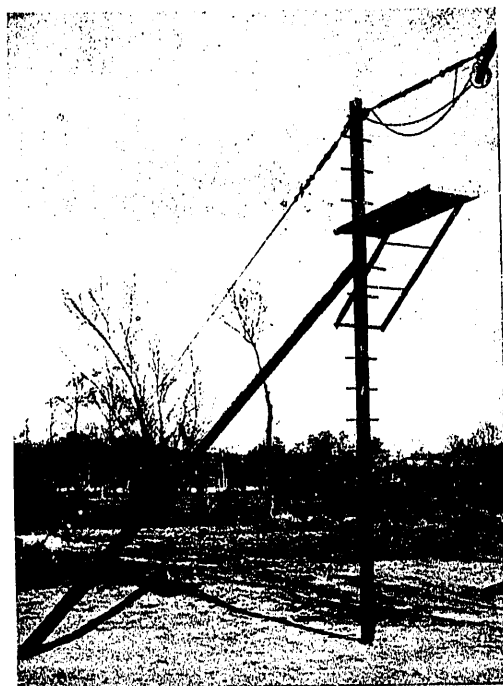


Fig. 11. Río Duero. Detalle del soporte del cable auxiliar y viento, margen (E. A. n.º 1)

montaje es indispensable y necesario para dejar en seco el pozo del limnógrafo cuando sea preciso reparar averías o limpiarlo.

En el interior de cada pozo se ha montado una escala limnimétrica, que además de servir para com-

probar el buen funcionamiento de las tuberías de comunicación con el río, contrasta, por comparación, el funcionamiento de los limnigrafos. Los ceros de las escalas, de los limnigrafos y de los limnímetros coinciden.

Los limnigrafos, dentro de las casetas protectoras, se han montado en mesas de madera de unos 80 centímetros de altura, dotadas de patas metálicas nive-

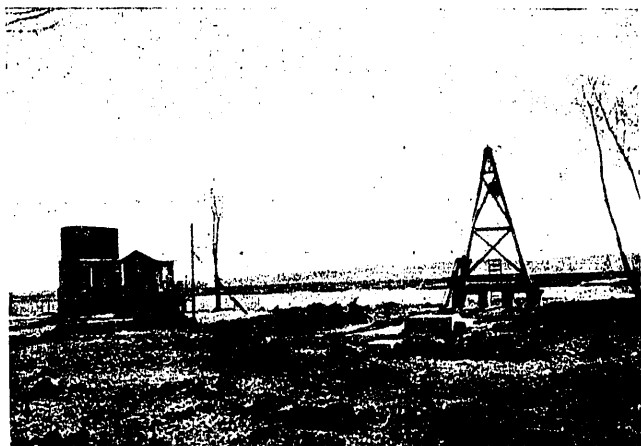


Fig. 12. Río Duero. Vista general de la Estación de Aforo n.º 1, desde la margen derecha

lantes, sobre el piso que cubre el pozo, en el cual piso se abre una compuerta que da acceso al interior de aquél, al que se baja por escalas de peldaños de hierro empotrados en sus paredes.

En el interior de las casetas hay, además, mesas plegables que utiliza el personal.

Las casetas y pozos se ventilan por las ventanas destinadas a darles luz, por ventiladores abiertos en la parte alta de aquélla y por tubos que ponen en comunicación el pozo con el aire.

En la fotografía de la figura 3.^a se ve la caseta de la estación núm. 4 y el principio de la tubería de invierno. En las figuras 5.^a y 6.^a se reproduce el exterior de las casetas de las estaciones números 1 y 3. Esta última es de madera; las demás, de mampostería o ladrillo con cubiertas de hormigón.

INSTALACIONES PARA LA MEDIDA DE VELOCIDADES DEL AGUA.—Para medir las velocidades del agua, se emplean molinetes, para cuyo manejo, tratándose de ríos de esta importancia, no cabe valerse de barcos ni pasarelas, sino de la *instalación de cable y vagoneta*, consistente en un cable sustentador tendido sobre dos castilletes de tal altura, que quede por encima del nivel de las máximas avenidas. Los aforadores trabajan sobre una vagoneta que corre suspendida de dicho cable y desde ella lanzan el molinete, colgado de otro cable.

En la estación núm. 3 se ha prescindido, por el momento, de esta instalación, pues el río Aliste presenta, ordinariamente, alturas pequeñas, es de poca anchura y el manejo de los molinetes se realiza entrando en el agua durante las aguas bajas, o desde un barco en las épocas de aguas altas o medias. Si prácticamente se viera la conveniencia de instalar el cable y vagoneta, se haría como en las demás.

Los *castilletes* de apoyo son de madera, con herrajes de refuerzo. En las fotografías de las figuras 7.^a, 8.^a y 9.^a, de las estaciones números 1, 4 y 3, respectivamente, se aprecia la disposición adoptada.

Se empotran en el terreno por medio de macizo

de hormigón, con los anclajes necesarios, y en la parte superior llevan las poleas para paso del cable sustentador y del cable de abscisas, colocado encima de aquél. En la estación núm. 4 las dos poleas van fijadas al castillete por sus ejes de giro respectivos; en las demás van montadas sobre una pieza vertical suspendida del vértice del castillete, disposición mejor.

El *cable de abscisas* está graduado de metro en metro, y los múltiplos de 5 y 10 tienen señales mayores, por marcas colocadas y placas indicadoras. En las fotografías de las figuras 7.^a, 8.^a y 9.^a se ven estos cables.

Todos los cables van anclados al terreno, después de pasar por las poleas de los castilletes. Su tensado y la colocación de un viento, amarrado al terreno por el lado contrario al río, aseguran la estabilidad del castillete y determinan el esfuerzo vertical, que se ha tenido en cuenta para el cálculo de los castilletes.

Los *cables sustentadores*, así como los de *abscisas* y los *auxiliares*, de que luego hablaré, proceden de la casa inglesa Allan, Whyte & Co, Ltd.

Partiendo de las características de los cables y de la luz del vano, se ha hecho por tanteos la elección de aquéllos, de modo que, dentro de las naturales condiciones de economía, las flechas del montaje permitan un fácil movimiento de la vagoneta.

Los resultados obtenidos por el cálculo se han comprobado experimentalmente, sometiendo los cables elegidos a las pruebas de resistencia necesarias, para tener las garantías de seguridad que requieren instalaciones de esta clase.

El *tensado de los cables* de suspensión y de abscisas se ha realizado por medio de poleas helicoidales tensoras, que por su fácil manejo, gran carrera y montaje rápido, han dado muy buenos resultados. En la fotografía de la figura 7.^a se ve la colocación de estas poleas, y en la 10 se aprecian con más detalle.

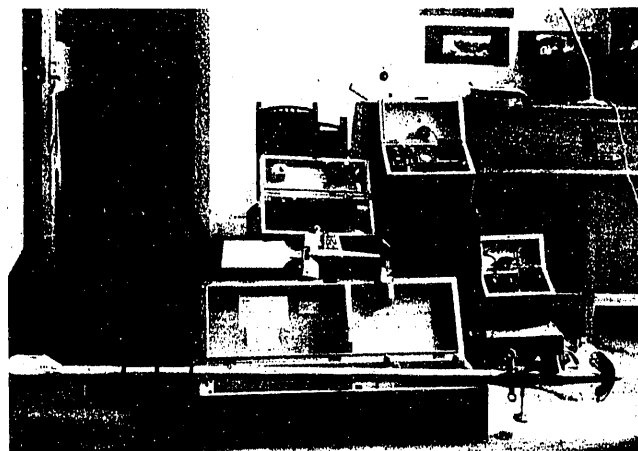


Fig. 13. Molinetes, baterías y accesorios para aforos.

Las *vagonetas* instaladas son ligeras; pero con resistencia para llevar dos operadores y los aparatos de aforo (molinete, pilas eléctricas, etc.). Van colgadas del cable sustentador por medio de dos ruedas de garganta unidas por un puente fijo, y son de pletinas de hierro y piezas de madera ensambladas y reforzadas. Tienen dos asientos y debajo de uno hay una caja para la colocación de la de las pilas durante el aforo y una polea para lanzar el molinete.

La propulsión se hace por el esfuerzo de los ope-

radores mediante una tenaza, que adaptándose al cable y haciendo flexión sobre ella con el brazo, la vagoneta se desliza. Se sube a ésta por medio de escaleras adosadas a los castilletes. Un freno que actúa sobre el cable las inmoviliza durante las observaciones de cada vertical de la sección de aforo. Un índice en el puente fijo entre las poleas de apoyo señala en el cable de abscisas las posiciones de la vagoneta (figuras 7.^a y 8.^a).

Como el molinete va suspendido de un cable, para conseguir que se mantenga en el plano vertical de la

sección de aforo sin ser arrastrado por la corriente, se ha instalado, aguas arriba, un *cable auxiliar*, paralelo a los de sustentación y abscisas. Sobre dicho cable auxiliar corre una polea, que lleva suspendida otra, por cuya garganta se hace pasar un cable, uno de cuyos extremos va unido al molinete y el otro lo sostiene uno de los aforadores, quien, tensando el cable, consigue que no salga del plano vertical del aforo. La fotografía de la figura 11 representa la disposición de amarre y el viento del cable auxiliar de la estación núm. 1, y en la de la figura 12, de la

Características de las estaciones de aforo números 1, 2, 3 y 4

CARACTERÍSTICAS	ESTACIÓN DE AFORO NÚMERO			
	1	2	3	4
Generales				
Nombre de la estación.....	Villachica.	Bretó.	Vegaltrave.	Muelas.
Río en que están emplazadas.....	Duero.	Esla.	Aliste.	Esla.
Provincia.....	Zamora.	Zamora.	Zamora.	Zamora.
Distancia a la capital {	Por carretera.....	25,0 km	53,0 km	26,4 km
	de provincia..... { Por tren y carretera...	24,7 km	—	—
Limnímetros				
Número.....	2	5	2	6
Tipo.....	Epper.	Epper.	Epper.	Escalas pintadas en madera.
Cota del cero de la escala.....	633,00 m	681,50 m	680,40 m	612,00 m
Lectura máxima en la escala.....	8,00 m	13,00 m	5,00 m	17,86 m
Cota correspondiente.....	641,00 m	694,50 m	685,40 m	629,86 m
Limnógrafo				
Escalas de reducción.....	1/5 y 1/20	1/5 y 1/20	1/5 y 1/20	1/5, 1/20 y 1/40
Tubería de verano... {	Cota.....	634,00 m	682,62 m	680,30 m
	Lectura de la escala... {	1,00 m	1,12 m	—
	Longitud.....	22,05 m	39,40 m	16,35 m
	Diámetro interior.....	0,10 m	0,05 m	—
Tubería de invierno... {	Pendiente de.....	0,0022	0,00207	0,006
	Cota.....	636,00 m	684,62 m	682,80 m
	Lectura de la escala... {	3,00 m	3,12 m	2,30 m
	Longitud.....	19,15 m	30,40 m	1,35 m
Cota del piso de la caseta.....	Diámetro interior.....	0,10 m	0,10 m	0,05 m
	Pendiente de.....	0,0026	0,00265	—
		642,00 m	695,05 m	684,70 m
Instalación de cable y vagoneta				
Distancia entre castilletes.....	246,00 m	243,00 m	—	180,35 m
Cable transportador... {	Flecha mínima en vacío para aforar.....	3,65 m	3,52 m	—
	Flecha mínima en carga para aforar.....	5,36 m	4,80 m	—
	Flecha mínima en vacío en máximas avenidas extraordinarias.....	—	2,60 m	—
Flecha del cable de abscisas.....	1,40 m	1,35 m	—	0,95 m
Flecha del cable auxiliar.....	3,50 a 4,03 m	2,60 a 3,50 m	—	5,00 m
Máximas avenidas aforables..... {	Cota.....	640,30 m	690,20 m	621,50 m
	Lectura de la escala... {	7,30 m	8,70 m	9,50 m

OBSERVACIONES

1.^a La estación de aforo núm. 3 no tiene tubería de verano. Esta se ha sustituido por una alcantarilla o tajea de mampostería en seco que, comenzando con un baden de entrada, termina en un pequeño depósito puesto en comunicación con el pozo del limnógrafo por un tubo de fundición que atraviesa su pared.

No tiene tampoco instalación de cable y vagoneta. Los aforos se hacen, o penetrando en el río con pantalones impermeables, o manejando los molinetes desde un barco.

2.^a Todas las estaciones están dotadas de un barco para el servicio de la misma.

vista general de esta estación, se ve la colocación de este cable respecto al sustentador. El amarre y tensado de los cables auxiliares se ha hecho por medio de templadores.

MOLINETES.—Hecha la descripción sucinta de los tres elementos principales de las estaciones de aforo, resta decir que los *molinetes* están dotados de contactos eléctricos en caja impermeable «Mensing-Ott» de arrastre magnético, adquiridos en la casa A. Ott, de Kempten (Baviera). La fotografía de la figura 13 representa los molinetes, baterías y accesorios para aforar. Se ve el molinete pequeño para aforos de aguas bajas por deslizamiento sobre una varilla redonda fijada verticalmente en el fondo del río y el molinete de suspensión flexible provisto de flotador, utilizado en los aforos de aguas medias y altas.

Son de señales eléctricas cada vuelta o cada veinticinco vueltas de la hélice, y cada uno tiene dos hélices, una para velocidades lentas y otra para velocidades mayores, teniendo como aparatos auxiliares y necesarios para su funcionamiento las pilas eléctricas productoras de la corriente necesaria para obtener aquellas señales, los cronómetros, las varillas de deslizamiento, los cables de suspensión y de contactos, etc., etc.

La casa A. Ott suministró los molinetes *tarados* con sus correspondientes fórmulas que dan, para cada

hélice, el valor v de la velocidad del agua en función del número n de vueltas por segundo en cada observación, fórmulas que son de la forma:

$$v = an + \sqrt{bn^2 + c}$$

$$v = kn$$

aplicándose una u otra, según los valores que se obtengan, para n .

CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTACIONES DE AFORO TERMINADAS.—El cuadro anterior resume las características de las cuatro estaciones terminadas, y da idea de la importancia de las instalaciones descritas.

EJECUCIÓN DE LAS OBRAS.—Para terminar esta primera parte, que se refiere a la ejecución de las obras, debo indicar que, hechas bajo la inmediata dirección del ingeniero de Caminos, jefe de la Delegación de Zamora de la Sociedad Hispanoportuguesa de Transportes eléctricos, D. Ricardo Rubio, auxiliado por el ingeniero industrial D. José de los Ríos, se han llevado a cabo todas las terminadas con gran minuciosidad en sus detalles, habiéndose tomado durante los trabajos numerosas fotografías, que constituyen un precioso dato informativo y un buen complemento de los planos de conjunto y de detalle levantados para cada estación.

Víctor DE NÓ
Ingeniero de Caminos

SALTO DE VILLALBA

Indicaciones generales

Recientemente se han hecho las pruebas de este Salto destinado al abastecimiento eléctrico de Madrid, que aunque no de gran potencia (15 000 caballos instalados), ofrece interés por la importancia de sus obras y por los problemas que han obligado a resolver la naturaleza del terreno y otras circunstancias, tales como la de ser preciso atender a la flotación de maderas.

El Salto es propiedad de la Sociedad Anónima Eléctrica de Castilla, domiciliada en Madrid e íntimamente relacionada con la Unión Eléctrica Madrileña, habiéndose celebrado contrato entre ambas para vender a ésta el total de la energía producida.

El Consejo de Administración de la Sociedad lo preside el Excmo. Sr. Marqués de Amurrio y lo forman los Marqueses de Urquijo y Donadío y los señores Peña, Aritio, Gandarias y Ruiz Senén, este último gerente de la misma. Aprovecha un tramo del río Júcar de unos 20 km de longitud y su casa de máquinas queda poco más de otros 20 de la ciudad de Cuenca; se desarrolla todo él en plena serranía, en terreno sumamente quebrado y de pintoresco aspecto. Existe carretera del Estado desde Cuenca, que la Sociedad ha prolongado hasta el lugar de la presa de embalse. Las obras afectan a los términos municipales de Cuenca, Uña, Las Majadas y Villalba de la Sierra, quedando la central en este último. La Sociedad ha construido también una línea de transporte y otra telefónica hasta el Salto de Bolarque, en donde entrega el fluido a la Unión Eléctrica Madrileña.

Las obras se han dividido en dos grupos. El primero constituye el Salto propiamente dicho y es lo que se termina en la actualidad. Complemento de lo ejecutado es el segundo grupo, constituido por la presa, capaz de crear un embalse de 35 millones de m³ y que se está empezando a ejecutar en la actualidad.

Descripción de las obras

El aprovechamiento utiliza las aguas del río Júcar y las del arroyo que alimenta la laguna natural de Uña, situada en el primer tercio del recorrido del canal. Esta laguna está, como decimos, alimentada por un arroyo de importancia que a su vez recibe el agua de potentes manantiales situados a menos de 2 km. El caudal mínimo aforado en el arroyo es de 500 litros por segundo. Está la laguna unos 6 m más alta que el río, y antes de las obras desaguaba el sobrante sobre éste en una pintoresca cascada.

En su conjunto el aprovechamiento es como sigue:

El sitio de la presa de embalse está más alto que el nivel de la laguna. Se ha podido, pues, partiendo de la presa, trazar un canal hasta la laguna, y elevando el nivel de ésta 2 m, transformarla en un embalse de cerca de medio millón de metros cúbicos que permite atender perfectamente a las variaciones de caudal diarias y aun semanales de la Central, y cuyo papel será particularmente interesante durante el tiempo que el Salto funcione sin el embalse principal.

A partir de la laguna se desarrolla un segundo ca-