

Sondeos para las grandes presas de los Saltos del Duero

La REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, así como varios compañeros, han pedido en diferentes ocasiones a la Dirección de la Sociedad Hispano-Portuguesa de Transportes Eléctricos, datos acerca de los estudios y trabajos que desde hace varios años está realizando aquella Sociedad en las provincias de Zamora y Salamanca para preparar la realización de los aprovechamientos hidroeléctricos conocidos generalmente con el nombre de «Saltos del Duero».

La repetición de estos requerimientos ha determinado a nuestra Dirección a ofrecer a los lectores de la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS una referencia de los trabajos aludidos, la cual será objeto de varios artículos. En este primero, relativo a sondeos para explorar los emplazamientos de algunas de las presas de embalse, cumpliendo el encargo con que he sido honrado, procuraré exponer los datos que conceptúo más interesantes para dar idea de los trabajos expresados.

Emplazamientos de presa explorados.—Se han realizado los sondeos precisos para explorar tres posibles emplazamientos de la presa del Salto de Ricobayo, de unos 75 m de altura, en el río Esla, y el de la presa del Salto de Villardiegua, de casi 85 m de altura, en el río Duero.

Sólo en dos de los tres primeros se ha efectuado una completa exploración. Cuatro agujeros practicados en el tercero bastaron para demostrar que es no-

cialistas, y a base de sus informes se decidió, en principio, que sería suficiente explorar en ellos tres o cuatro secciones transversales del río, practicando en cada una tres agujeros. En el Esla se estudiaron tres secciones transversales, en cada uno de los dos em-

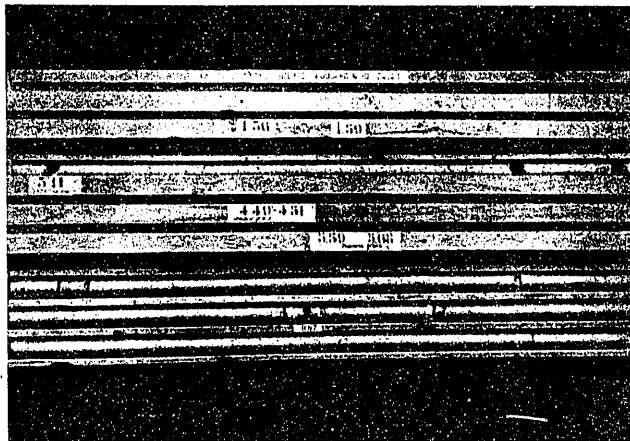


Fig. 2.ª Vista de una caja de testigos.

plazamientos completamente explorados, mientras que en el Duero, por razón de la mayor altura de la presa, se registraron cuatro secciones. La figura 1.ª representa la planta de los sondeos en la presa del Salto de Villardiegua, y prueba que, al realizar la exploración, apenas nos apartamos del plan indicado. El agujero núm. 6, destacado de los de la sección transversal próxima, tiene por objeto la exploración del aluvión depositado sobre el lecho del río, que en aquel punto parecía de mayor espesor que en los restantes. Casi todos los sondeos tienen dirección vertical, que exige menor longitud de perforación para explorar el mismo espesor de roca. Sin embargo, se han efectuado agujeros inclinados cuando las dificultades para instalar la plataforma de la sonda eran tales que resultaba en conjunto más económico incurrir en el exceso de longitud de un sondeo inclinado.

La profundidad de los sondeos se determinó perforando primeramente un sondeo-guía, de tal longitud que, dada la naturaleza de la roca, se tiene amplia garantía de haber pasado la zona que será afectada por la construcción de la presa. Las enseñanzas de este primer agujero han sido suficientes para decidir la profundidad de los restantes. La longitud de los sondeos-guías ha sido de unos 50 m, mientras que la de los otros agujeros se limitó entre 10 y 15 m.

En general, no se ha considerado indispensable practicar agujeros en las laderas, y se ha circunscrito la exploración al área que ha de ocupar la base de la presa. En uno de los emplazamientos del Esla se juzgó preciso examinar también la roca de los estribos de la presa: en tal exploración se emplearon algunos sondeos, pero principalmente se hizo mediante las investigaciones complementarias (galerías) a que antes nos referimos.

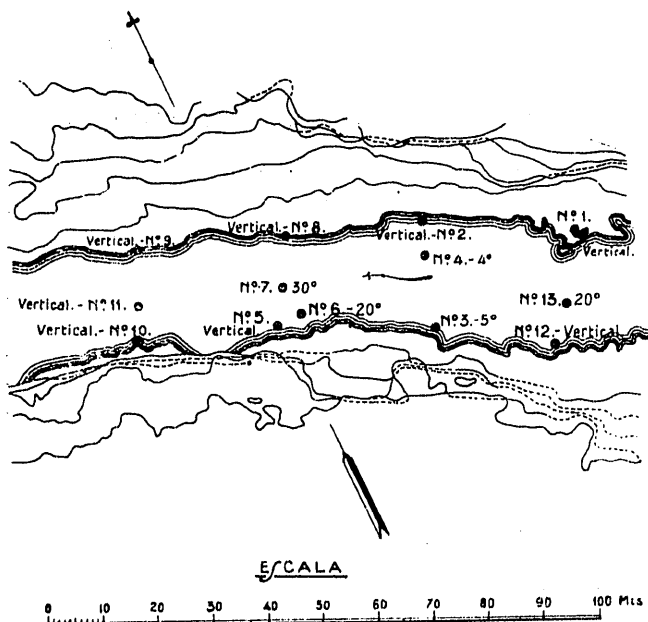


Fig. 1.ª Plano de los sondeos en el sitio de la presa de Carrancho. Salto de Villardiegua. Río Duero, Zamora.

toriamente inferior a los primeros, en los cuales ha sido menester realizar otras investigaciones complementarias para elegir el más ventajoso.

Plan de las exploraciones.—Los emplazamientos fueron primeramente reconocidos por geólogos espe-

Tipo de sonda y datos recogidos.—El tipo empleado ha sido el de sonda rotativa de diamante, accionada por un motor de petróleo que mueve también la bomba para la inyección de agua en el agujero. La sonda es de corona de 46 mm de diámetro, dando testigos de 32 mm de diámetro.

Los testigos se recogían en cajas como la representada en la figura 2.^a, que sirven para la posterior conservación de aquéllos, en la forma que la misma fotografía indica. En las cajas se anotan, en el lugar que les corresponden, las profundidades a que se llega en el momento de extraer testigos y las que definen la posición de las grietas u otras particularidades observadas. Estos datos se han resumido en estados como el que insertamos a continuación:

ESTACION NUM. 7

Agujero número 10.—Vertical.

Cota del arranque del agujero: 515,625.

Emboquillamiento

2,03 metros. Arena y grava.

Cota del arranque del sondeo en roca: 513,595.

Sondeo en roca

Metros perforados		Testigos recobrados Metros	Por 100 de testi- gos	Naturaleza de la roca (Gneis)
Totales	Parcia- les			
0,00	»	»	»	Roca dura y compacta.
1,36	»	»	»	Grieta pequeña permeable.
1,59	1,59	1,52	95	Roca dura y compacta.
3,11	1,52	1,50	98	Grieta pequeña impermeable.
3,78	»	»	»	Roca blanda y compacta.
4,49	»	»	»	Roca dura y compacta.
4,51	1,40	1,40	100	Grieta pequeña impermeable.
5,57	»	»	»	Roca dura y compacta.
5,68	1,17	1,17	100	Roca dura y compacta.
6,73	»	»	»	Roca blanda y compacta.
7,17	1,49	1,49	100	Roca dura y compacta.
8,67	1,50	1,32	88	Roca dura y compacta.
10,16	1,49	1,49	100	Roca blanda y compacta.
10,58	»	»	»	Roca blanda y compacta.
11,28	»	»	»	Roca dura y compacta.
11,65	1,49	1,48	99	Roca dura y compacta.
12,97	1,32	1,32	100	Roca dura y compacta.
12,97	12,97	12,69	98	

Las grietas atravesadas han sido objeto de estudio muy minucioso, cuya práctica vamos a explicar con algún detalle, porque es, a nuestro juicio, lo más interesante del trabajo.

Para ahorrar tiempo, se hacía el ensayo de todas las grietas atravesadas, no a medida que iban apareciendo, sino después de terminada la perforación de cada agujero, valiéndose del artificio representado en la figura 3.^a

La permeabilidad de cada grieta se apreciaba inyectando primeramente agua en el agujero con presión de unas dos atmósferas, para lo cual se utilizaba un recipiente graduado, elevado unos 20 m sobre

la plataforma de la sonda. Si la pérdida de agua así obtenida era nula o inferior al volumen máximo que la bomba de la sonda podía inyectar, se procedía a averiguar la presión—medida en el manómetro de la bomba—con que se perdía el volumen indicado, o bien si la grieta resultaba impermeable para la presión máxima de que la bomba era capaz. Finalmente

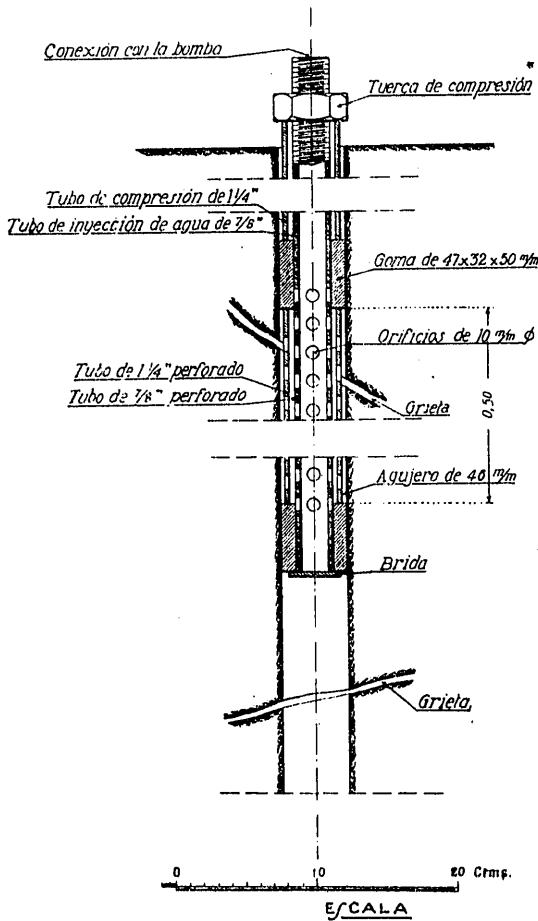


Fig. 3.^a Aparato para el ensayo de grietas de pequeña longitud.

se determinaba la permeabilidad que llamábamos «sin presión», porque prácticamente resultaba sin presión el agua inyectada desde un recipiente graduado colocado en la plataforma de la sonda.

Este sistema no es de aplicación cuando se presenta una grieta, o una zona de roca agrietada, de extensión longitudinal superior a 50 cm, que es la distancia máxima que es posible aislar con el dispositivo empleado. En este caso, advertido siempre al sacar los testigos, se hacían inmediatamente, antes de continuar perforando, las correspondientes pruebas, utilizando otro artificio semejante, representado en la figura 4.^a

Con objeto de formarse idea del recorrido de las grietas determinábamos la presión hidrostática del agua en el agujero, sirviéndonos del procedimiento mostrado esquemáticamente por la figura 5.^a, que permite medir el nivel del agua en el agujero. La diferencia entre este nivel y el de la superficie del río en la sección transversal del sondeo da una representación aproximada del recorrido de la grieta, teniendo presente el perfil longitudinal de aquella superficie.

Después de hacer los ensayos de permeabilidad se hallaba el nivel del agua en el agujero introduciendo el contacto de cobre en el tubo perforado. Puede ocu-

rrir que el nivel del agua en el agujero sea inferior al correspondiente, durante el ensayo, al extremo cerrado del tubo que aisla la grieta (fig. 3.^a). Esta eventualidad no se presentó nunca en nuestros sondeos,

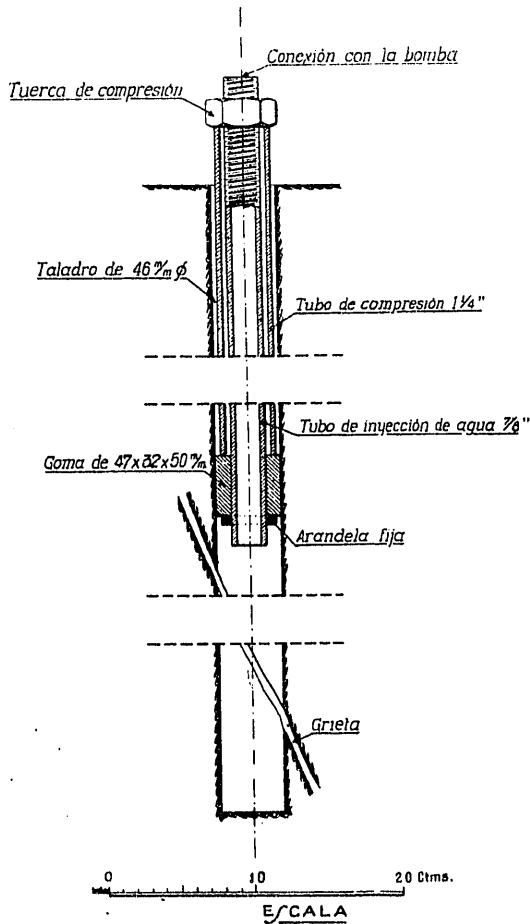


Fig. 4.^a Aparato para el ensayo de grietas de gran longitud.

y parece que en general no ha de ocurrir sino en grietas muy superficiales. En todo caso, el empleo del aparato de la figura 4.^a evita el inconveniente señalado.

Los resultados de los ensayos de las grietas se han condensado en estados semejantes a éste:

Grietas

Cota del piso de la plataforma: 527,02.

Cota del arranque de la tubería forzada: 542,56.

Cotas de las grietas		PERMEABILIDAD						Cotas del agua en el		Diferencia del primer nivel al 2.º		
		Sin presión. Litros por minuto. . . .	Con presión				Atmósferas.					
			Recipiente	Bomba								
Relativas . . .	Absolutas . . .		Litros por minuto. .	Atmósferas.	Litros por minuto. .	Atmósferas		Taladro..	R.fo.....	En + metros.	En — metros.	
0,98	510,93	263	13,12	2,33	8,85	1,00	521,32	521,23	0,09	—	—	
5,71	515,15	15,00	32,00	2,74	8,85	0,75	521,03	521,25	0,08	—	—	
7,74	518,12	0,00	0,00	2,04	0,00	10,00	—	—	—	—	—	
8,09	512,77	0,00	0,00	2,07	0,00	10,00	—	—	—	—	—	

Interpretación de los resultados obtenidos.—Una exploración mediante sondeos sirve no solamente para

estudiar si un emplazamiento de presa reúne, en lo que respecta a la solidez e impermeabilidad de la roca de los cimientos, todas las condiciones apetecibles, sino también para proporcionar datos de garantía imprescindibles al objeto de elaborar el proyecto definitivo de la estructura, que sólo de una manera estimativa han podido ser fijados en el anteproyecto. Nos referimos principalmente al espesor del aluvión depositado sobre el cauce del río y a la profundidad de la excavación para cimientos. El cubo de presa correspondiente a estos espesores puede llegar a ser un por ciento elevado del total de la obra, y el volumen de presa figurado en el anteproyecto puede sufrir un considerable aumento si tales cantidades han sido estimadas muy por defecto, puesto que al resultar mayor la altura total de la presa hay que aumentar también su anchura transversal. El coste de la excavación misma, de aluvión y cimientos, suele ser igualmente una partida importante en los proyectos de presas. Y, finalmente, hay lugar a estudiar el procedimiento para garantizarse de la falta de impermeabilidad en el macizo de cimientos, que los sondeos han podido denunciar, y a calcular el importe de su ejecución.

En nuestros emplazamientos ha sido muy fácil la interpretación de los resultados de los sondeos, porque trabajamos con rocas antiguas—granito y gneis—, muy compactas.

Examinando todos los datos relativos a un agujero se ha determinado para cada uno de ellos el límite de la zona de roca floja y el de la zona de roca permeable. Este último límite, en los emplazamientos del Esla, no separa roca completamente impermeable (para las presiones de ensayo), sino roca con grietas de una permeabilidad muy pequeña, prácticamente sin importancia.

Los agujeros se han agrupado en secciones transversales y longitudinales para apreciar la variación de los límites referidos en tales direcciones. La figura 6.^a representa una sección transversal del empla-

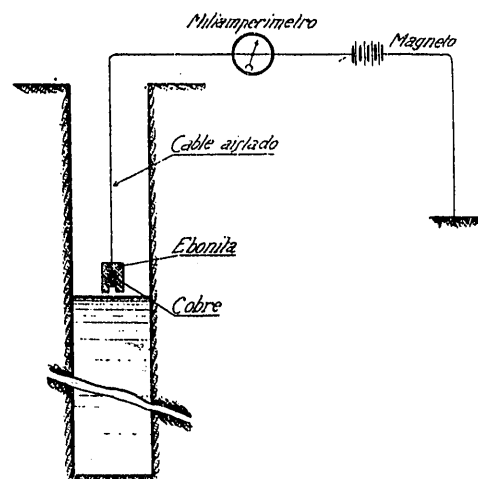


Fig. 5.^a Aparato para determinar el nivel del agua en el agujero.

zamiento de la presa del Salto de Villardiegua, en el río Duero.

Estas secciones permiten calcular de una manera suficientemente aproximada los volúmenes de aluvión y de excavación para el macizo de cemento, y dan la altura total de la presa, que ha de servir de punto de partida para el proyecto definitivo de esa estructura.

Los resultados de los sondeos en el emplazamiento de Villardiegua autorizan a no prever ninguna especial precaución en relación con la impermeabilidad del macizo de cimientos. En los emplazamientos del Esla se estima que una corta cantidad de inyecciones de cemento a presión será bastante para lograr el grado de impermeabilidad deseado.

Los resultados de los sondeos y los estudios de ellos derivados se han sometido finalmente a la consideración y al consejo del geólogo especialista que ha colaborado con nosotros en este trabajo.

Sistema de ejecución y coste.—Los sondeos propiamente tales—perforación—se han ejecutado por contrata, y por administración se han hecho todos los trabajos auxiliares.

Seguramente resultará más interesante conocer los datos relativos a la exploración completa de uno de los emplazamientos que los del conjunto de todas las investigaciones antes reseñadas. Por tanto, daremos los concernientes al de la presa del Salto de Villardiegua, en el río Duero.

Las condiciones locales son las siguientes: Distancia a Zamora, 48 km por carretera y 7 por camino. Laderas, de unos 250 m de altura. Roca, gneis.

Fué preciso construir un camino de servicio desde la parte superior de la ladera hasta el río. Las plataformas para la instalación de la sonda se hicieron de madera, y como medios auxiliares sólo empleamos un

dos a proporcionarnos informes independientes de las incidencias y ensayos de los sondeos.

Para trabajos contratados se estipularon los siguientes precios:

Sondeo en roca: 120 ptas/m.

Emboquillamiento: 150 ptas/m.

Montaje y desmontaje del equipo: 300 ptas/c u.

Traslado del equipo: 200 ptas/día.

Paralización del sondeo por causas imprevistas (falta de instrucciones, etc.): 10 ptas/hora.

Paralización del sondeo por causas previstas (ensayos, etc.): 15 ptas/hora.

La exploración de este emplazamiento exigió la perforación de 194,03 m de sondeo en roca, y 21,45 m de emboquillamiento en el aluvión que cubre el cauce.



Fig. 7.^a Río Esla. Situación de la sonda para los taladros números 17 y 18, vista desde aguas arriba.

En total, 215,48 m, repartidos en 13 agujeros, que requirieron la construcción de ocho diferentes plataformas para la sonda.

La descomposición del coste medio del metro lineal perforado es como sigue:

Trabajos contratados	Pesetas
Perforación.....	122,99
Traslado del equipo.....	52,22
Ensayos.....	6,09
Varios.....	4,33
	185,63
Trabajos auxiliares	
Mano de obra.....	54,14
Madera.....	19,42
Inspección.....	13,85
Transportes.....	10,05
Cajas de testigos y aparatos de medida..	4,97
Herramienta.....	4,16
Varios.....	4,39
	110,98
TOTAL.....	296,61

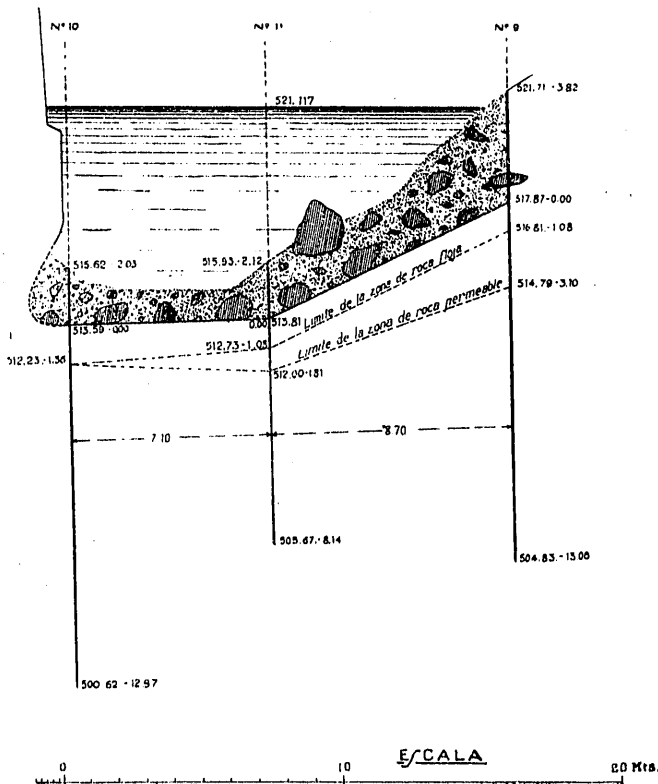


Fig. 8.^a Sección transversal del emplazamiento de la presa de «Carranco».

barco y cables de cáñamo. A pesar de que algunas de las plataformas se erigieron en condiciones difíciles y tuvieron que soportar una crecida de 5 m de altura, no dieron lugar a ninguna contrariedad.

La vigilancia constante del sondeo fué encomendada a un inspector por cada turno o jornada de trabajo. Los sondistas y los inspectores estaban obliga-

Duración de los trabajos.—Los sondeos para la presa del Duero se realizaron durante los meses septiembre-noviembre del año 1921, sondeando veinticuatro horas diarias, con tres turnos de ocho horas cada uno. Los días festivos no se trabajaba, generalmente. Se invirtieron en total noventa días, de los cuales ochenta de trabajo efectivo.

La velocidad media del sondeo en roca fué de 8,48 m en veinticuatro horas.

La velocidad del emboquillamiento es, naturalmente, muy variable. La media resultó de 2,65 m en veinticuatro horas.

El avance medio del sondeo por día de trabajo efectivo se reduce a 2,69 m, y por día empleado a 2,39 m.

Resumen de los sondeos efectuados hasta la fecha.—Para explorar los cuatro emplazamientos de que se ha hecho mención al principio de este artículo se abrieron 41 agujeros, con una longitud total de 784,60 m, de los cuales 33,88 m corresponden a emboquillamientos y los restantes a sondeo en roca.

El importe total de estos trabajos se descompone así:

	Pesetas
Trabajos contratados.....	146 166,26
Trabajos auxiliares.....	56 392,58
SUMA TOTAL.....	202 558,84

Los sondeos comenzaron el día 15 de octubre de 1920 y terminaron el 24 de noviembre de 1921.

Estos trabajos, como todos los efectuados por la Sociedad Hispano-Portuguesa de Transportes Eléctricos, han estado sometidos a la superior dirección del ingeniero de Caminos D. José Orbegozo. La dirección inmediata estuvo confiada al que suscribe, asistido por el ingeniero industrial, D. José de los Ríos Urruti. Consultor geólogo ha sido el ingeniero de Minas D. Primitivo Hernández Sampelayo. «Svenska-Diamant-bergborrnings. Aktiebolaget», de Estocolmo, representada por «Construcciones Eléctricas y Mecánicas», A. de Ortueta, de Bilbao, contrató los trabajos de perforación.

Ricardo RUBIO
Ingeniero de Caminos

Edificios de hormigón armado en el ferrocarril de Tánger a Fez

En la construcción de las obras de esta vía férrea se ha empleado en gran escala el hormigón armado, no sólo para un gran número de tramos rectos bajo carriles, entre ellos, todos los de la sección española, y para muchos pasos superiores y depósitos de agua, sino para la mayor parte de los edificios de estaciones.

Como ejemplo de los edificios para viajeros, presentamos en la figura 1.^a el construido en Fez, ci-

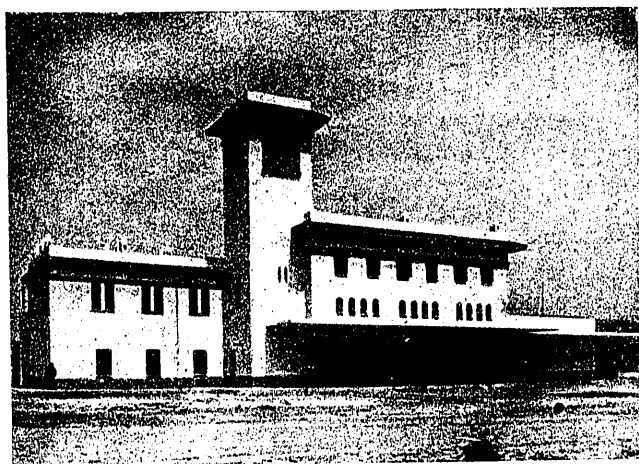


Fig. 1.ª Edificio para viajeros de la estación de Fez.

mentado en un terreno fangoso con una capa de agua de 1,25 metros de profundidad.

Los muros son de mampostería y se apoyan, los de un solo piso, sobre placas de hormigón armado de 1,40 m de anchura que reparte su peso a razón de 1 k-cm².

El resto del edificio descansa sobre placas longitudinales, también armadas, de 0,75 × 0,30, sobre pilotaje de 4 m, suficiente para apoyarse en terreno

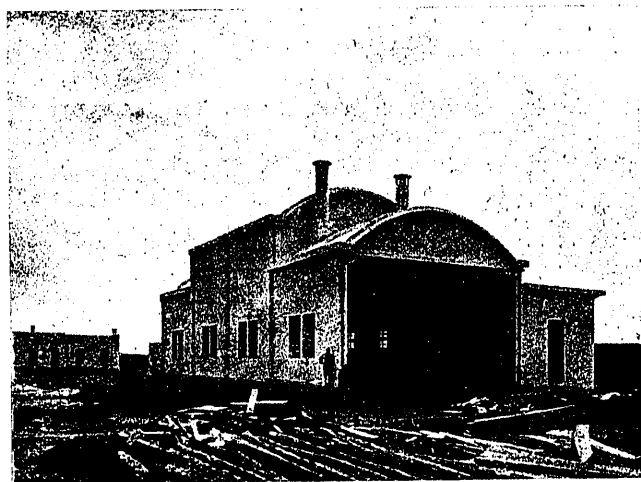


Fig. 2.ª Tipo corriente de depósito para dos locomotoras.

firme, y con una carga y rechazo correspondiente a 10 toneladas por pilote.

Para asegurar la impermeabilidad de los sótanos, se han construido sus soleras inferiores en forma de bóvedas invertidas de H. A.

Análogamente, con bóvedas de 1 : 12,5 de flecha, se han ejecutado las soleras de H. A. de los pisos bajos, para evitar así los asentamientos de los terraplenes de relleno.

Los pisos primeros son del tipo corriente, pero los de las terrazas se han construido con un forjado in-