

LA PRESA DE DJATILUHUR (INDONESIA) (*)

Por MICHEL HAMON

Ingeniero Jefe de la Oficina de Ingenieros Consultores
Coyne & Bellier (París)

El aprovechamiento hidroeléctrico de Djatiluhur, puesto en servicio en 1967, tiene como elemento principal una presa de escollera de 100 metros de altura. Es no sólo la primera gran presa construida en Indonesia, sino, además, la más importante de las construidas hasta ahora en el SE. asiático.

Situada sobre el río Tjitarum, en la provincia de Java occidental, a unos 80 Km. al SE. de la capital, Yakarta, embalsa 3 000 millones de metros cúbicos e inunda una superficie de 83 Km. cuadrados (figs. 1 y 2).

Destinada esencialmente al riego es de vital interés para el país, ya que suministrará el agua necesaria para 24 000 hectáreas de arrozales, que en la actualidad sólo producen una cosecha anual, mientras que gracias a la presa de Djatiluhur podrán obtenerse dos por año.

Las 280 000 toneladas anuales suplementarias así producidas disminuirán de forma apreciable las gravosas importaciones de arroz que en la actualidad realiza Indonesia con el fin de hacer frente a las crecientes necesidades de su población.

Aparte de las obras de irrigación necesarias (estaciones de bombeo, canales primarios y secundarios, etc.) llevadas a cabo en su totalidad por las autoridades indonesias, el aprovechamiento incluye: las otras principales (presa principal y central termoeléctrica) y los diques auxiliares y los aliviaderos de crecidas.

OBRAS PRINCIPALES

Para aprovechar el salto creado por la presa, el proyecto incluye una central hidroeléctrica con seis grupos de 31 MVA. Los 700 millones de kWh. anuales así producidos son un beneficio adicional que provoca la presa, así como el de reducir en más de la mitad los caudales puntas de crecida (3 000 m.³/seg. en lugar de los 8 000 m.³/seg. estimados para la crecida milenaria) y liberar al valle del Tjitarum, muy pobla-

do y cultivado, de las inundaciones que hasta ahora sufría.

La presa.

La presa propiamente dicha es una presa de escollera, con núcleo de tierra compactada (figuras 3 y 4).

Sus dimensiones principales son las siguientes:

- Altura máxima sobre cimientos: 105 m.
- Longitud en cresta: 1 200 m.
- Volumen total: 9 100 000 m.³.

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta Revista, hasta el 30 de noviembre de 1970.

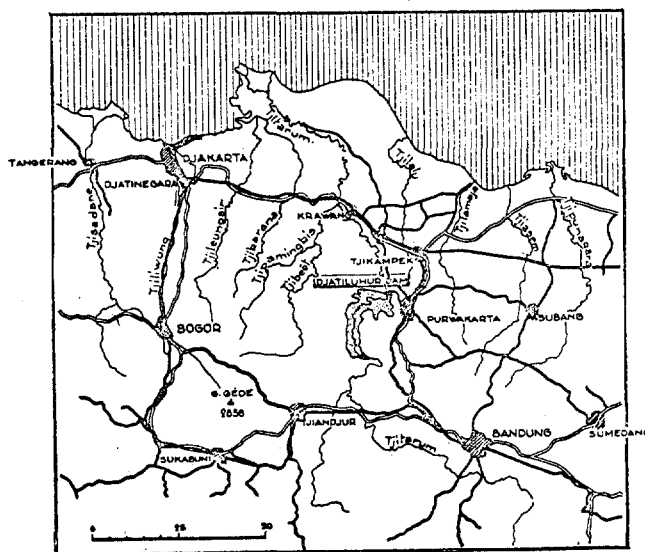
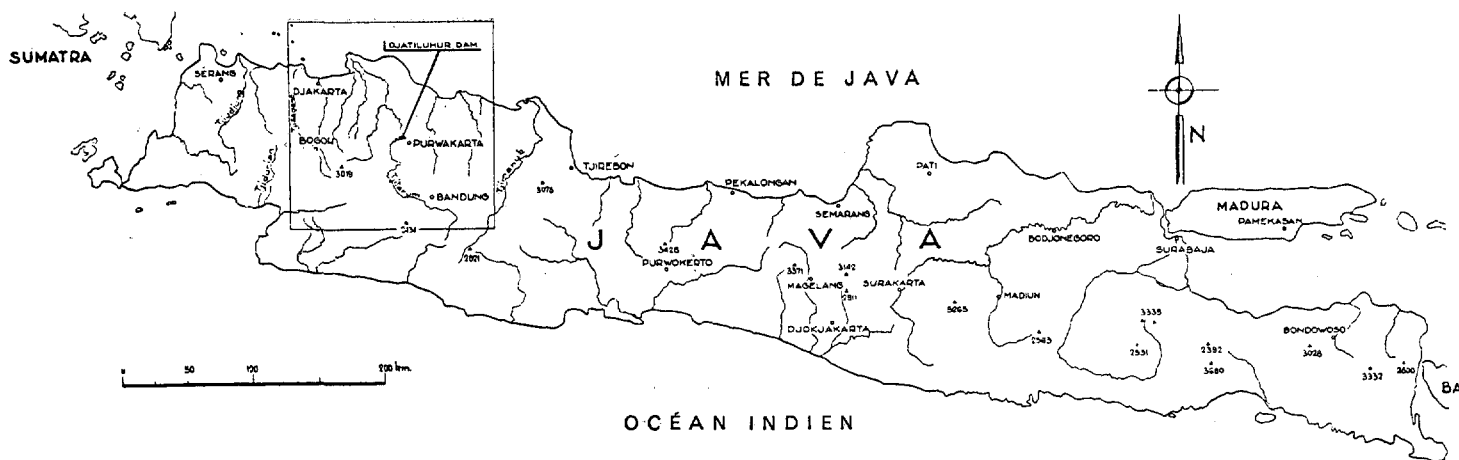


Fig. 1.—Plano de situación.

Los materiales son de tres categorías, principalmente:

- en el centro, el núcleo, en tierra compactada;
- a una y otra parte del núcleo, del cual están separados por filtros y zonas de transición, los espaldones en escollera;
- aguas abajo, la banquetta o berma.

La solución escollera ha sido seleccionada tras numerosos estudios comparativos. La naturaleza del terreno de cimentación, constituido por una alternancia de bancos de arcilla y de arenisca, fue considerada impropia para la construcción de una presa de hormigón de esta altura.

Las tierras del núcleo provienen de las excavaciones de la presa o de zonas de préstamos situadas en su proximidad inmediata. El material, de una alta plasticidad, está formado por la descomposición superficial de la arcilla y la arenisca subyacentes.

Los límites de Atterberg, en valor medio, son: límite líquido, 64 %; límite de plasticidad, 38 %. En el ensayo Proctor, el contenido en agua es del 2 % y la densidad seca, de 1,63 toneladas metro cúbico.

Las características de cizallamiento tenidas en cuenta en el proyecto son:

$$C' = 3,5 \text{ Tn./m.}^2; \quad \phi = 19^\circ.$$

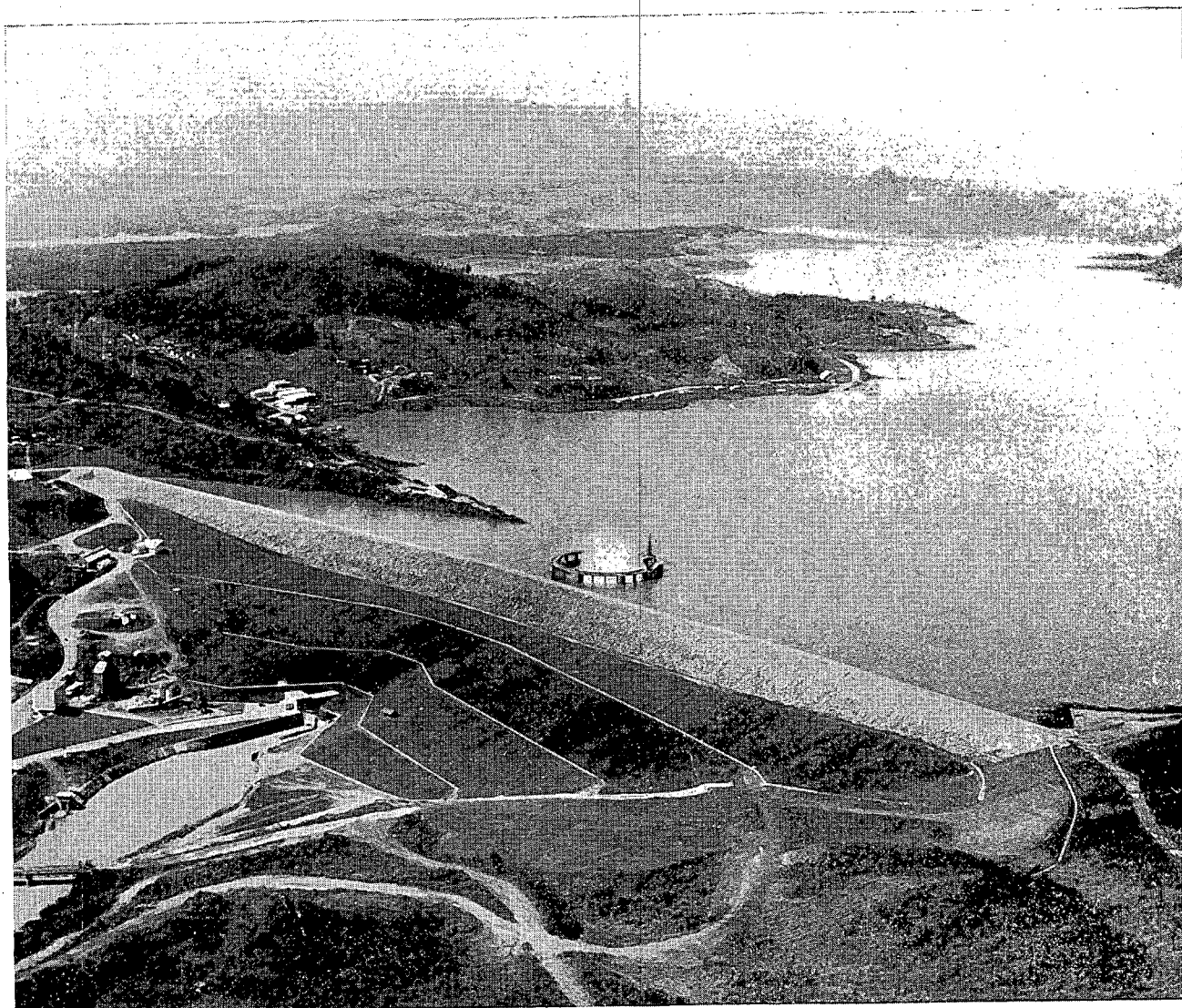


Fig. 2.—Vista general de la presa.

La escollera proviene de una cantera de andesita abierta a unos 7 Km. de la obra. En general, la escollera que forma la parte baja de la presa ha sido puesta en obra por vertido en grandes espesores (10 a 30 m.), regados a presión con "monitores" (fig. 5): la de la parte alta, por tongadas de 1 a 2 m. de espesor y compactadas.

La banqueta de aguas abajo, finalmente, está constituida por arenisca en su parte central y por arcilla o tierra en las orillas. Ha sido puesta en obra en tongadas de 0,60 m., compactadas.

El proyecto original de la presa no incluía esta banqueta. Fue añadida durante la construc-

ción para mejorar la estabilidad de la presa, ya que, al efectuar la excavación de los cimientos en la zona de aguas abajo, se descubrieron, entre los bancos de arcilla, delgadas venas de arcilla plástica que habían escapado a los reconocimientos. Pero en esta época ya habían sido construidas buena parte de las obras de hormigón, especialmente las conducciones de salida bajo la presa; ello explica la forma en planta de la banqueta, visible en la figura 3.

En el caso de una presa de hormigón posiblemente la solución no hubiese sido tan sencilla.

La parte aguas arriba de la presa engloba la

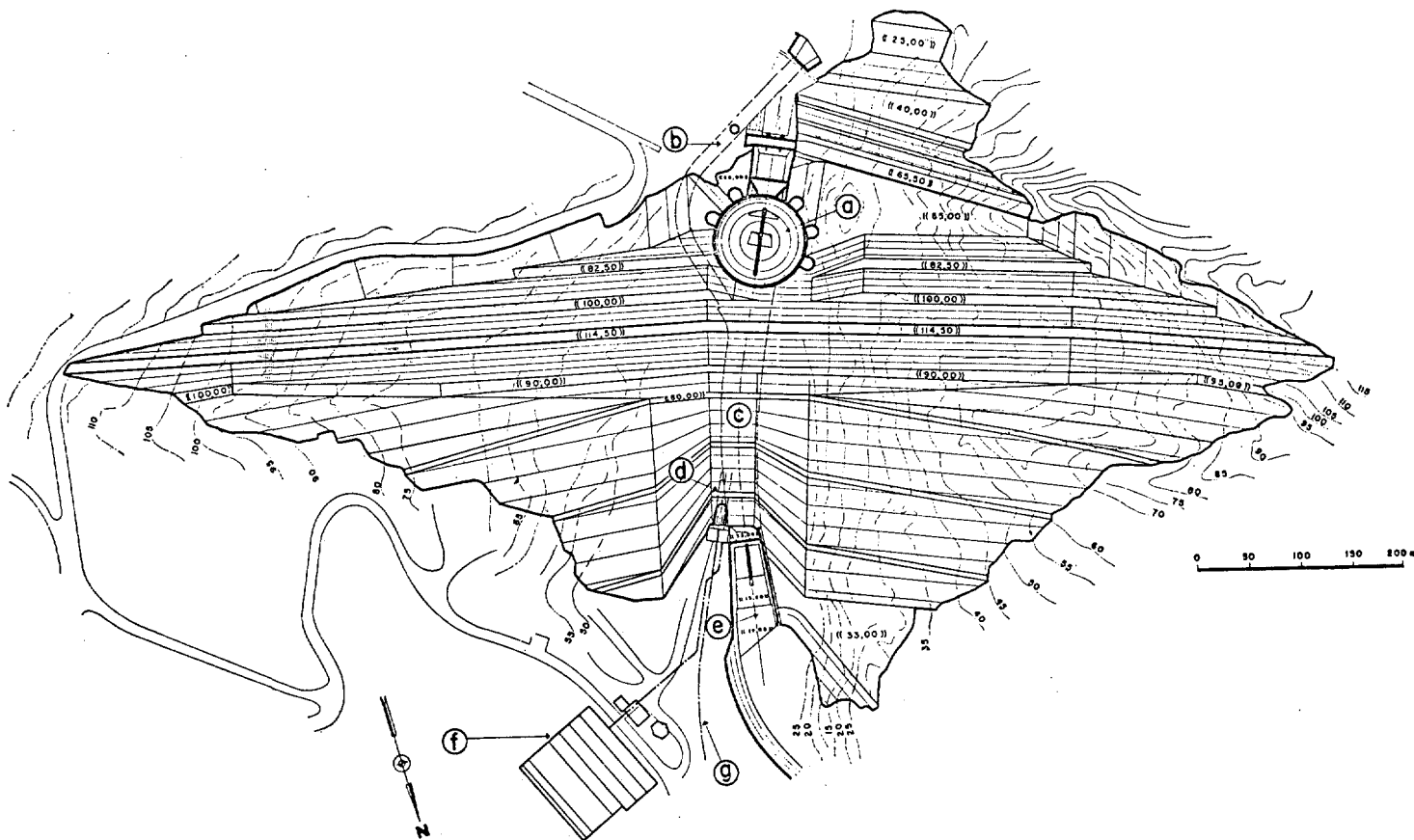


Fig. 3.—Vista en planta de la presa principal: a), torre; b), Galería de desviación provisional; c), canales de descarga; d), galería de acceso; e), obras de salida de los canales de descarga; f), puesto exterior, y g), vía férrea.

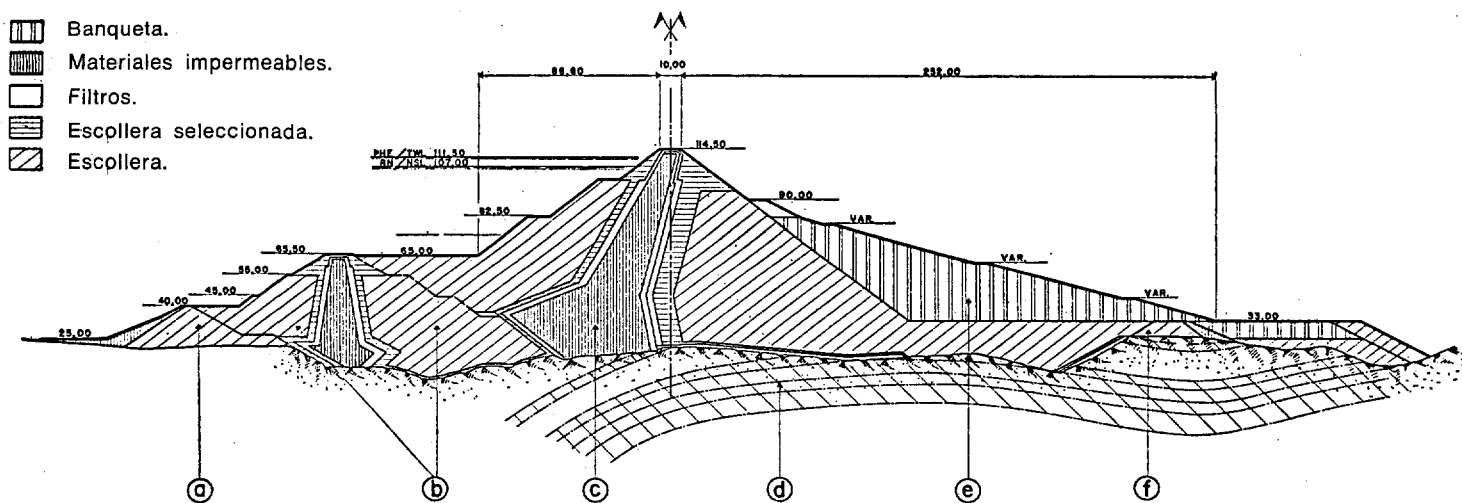


Fig. 4.—Corte de la presa principal: a), ataguía; b), ataguía de aguas arriba; c), núcleo impermeable; d), bancos de arenisca; e), banquetta aguas abajo, y f), ataguía aguas abajo.



Fig. 5.—Puesta en obra de la escollera y riego posterior.

ataguía de aguas arriba, construida la primera, y que es ella misma una presa de escollera de 50 m. de altura, de núcleo vertical.

La altura relativamente grande de la ataguía aguas arriba se debe, por una parte, al deseo de reducir, gracias a la carga así creada, las dimensiones de la galería de desviación provisional, y por otra, para permitir, sin esperar a la construcción de la presa principal, el almacenamiento de un cierto volumen de agua para su uso en regadíos.

La torre.

La central hidroeléctrica y todos los órganos anejos necesarios para la explotación y la

seguridad, notablemente el aliviadero de crecidas y las compuertas de riego, previstas para suministrar a los regadíos el caudal necesario sin necesitar de parar la central, han sido concentrados en una estructura de hormigón, de forma cilíndrica vertical.

Con una altura de 110 m. y un diámetro de 90 m., esta torre, implantada en el cuerpo mismo de la presa, en su zona de aguas arriba y al pie de la ribera derecha, abriga en su base la central, de forma anular. Las tomas de agua están repartidas a lo largo del semicilindro de aguas arriba (figs. 6 a 10).

En el borde superior de la torre se hallan los aliviaderos, siendo la altura máxima prevista para la lámina vertiente de 4,60 m. (RN, 107,00; PHE, 111,60). Está coronada por una pasarela en la

que se hallan los mandos de las compuertas de toma (fig. 11).

De la base de la torre parten dos conductos en hormigón armado, adyacentes, que pasan bajo la presa. Su sección es en herradura, de 11 m. de altura y 10,20 de ancho. Sirven a la vez de canal de salida para el agua procedente de las turbinas y como conductos de evacuación para el agua de los aliviaderos.

La unión del agua procedente de las turbinas, a baja velocidad (unos 2 m./seg.) con la de los aliviaderos, a gran velocidad (cerca de 20 m./seg.) crea delicados problemas de hidráulica que se han resuelto por estudios en modelo reducido.

La estructura hidráulica a la salida de estos conductos ha sido igualmente estudiada en modelo reducido, realizándose la disipación de energía mediante un resalto hidráulico.

El interés principal de esta concentración de obras hidráulicas en un bloque situado aguas arriba de la presa es el siguiente: la presa, o la cimentación, sólo son atravesadas por conductos en los que el agua circula en lámina libre o a muy poca carga (la del nivel aguas abajo). Ello es una ventaja considerable desde el punto de vista de la seguridad, máxima en este caso de terreno susceptible de asientos importantes, y en el que la presencia de conductos o galerías con gran carga constituye siempre una amenaza para la seguridad.

La comunicación con la central se verifica por una galería de acceso de poca pendiente (2 a 8 por 100), situada sobre los canales de salida. Por esta galería pasan igualmente los cables eléctricos de 150 kV. Los transformadores están situados en la central, en nichos cerrados contruidos entre los grupos generadores.

El volumen total de hormigón de la torre es de 360 000 m.³. El de los canales de salida y galería de acceso es de 160 000 m.³.

Al hallarse el aprovechamiento en una región sísmica, la torre y sus superestructuras han sido calculadas, como el resto de la presa, teniendo en cuenta una aceleración horizontal igual a 0,10 g.

En cuanto a la construcción, es interesante señalar el modo de ejecución de los cimientos de la torre. Antes de proceder a la totalidad de la excavación, se construyó por el método clásico de hojas blindadas de hormigón, un anillo circular de 5 m. de grosor, que descendía hasta el nivel de la base de la torre. Al abrigo de este elemento, que fue posteriormente incorporado a la parte baja de la torre, se pudo ejecutar sin dificultad la excavación interior. Sin esta precaución se hubiesen presentado problemas delicados en razón de la gran profundidad (unos 35 metros) y de la inestabilidad del terreno. El muro o anillo puede verse en la figura 7 (ver también foto de figura 12).

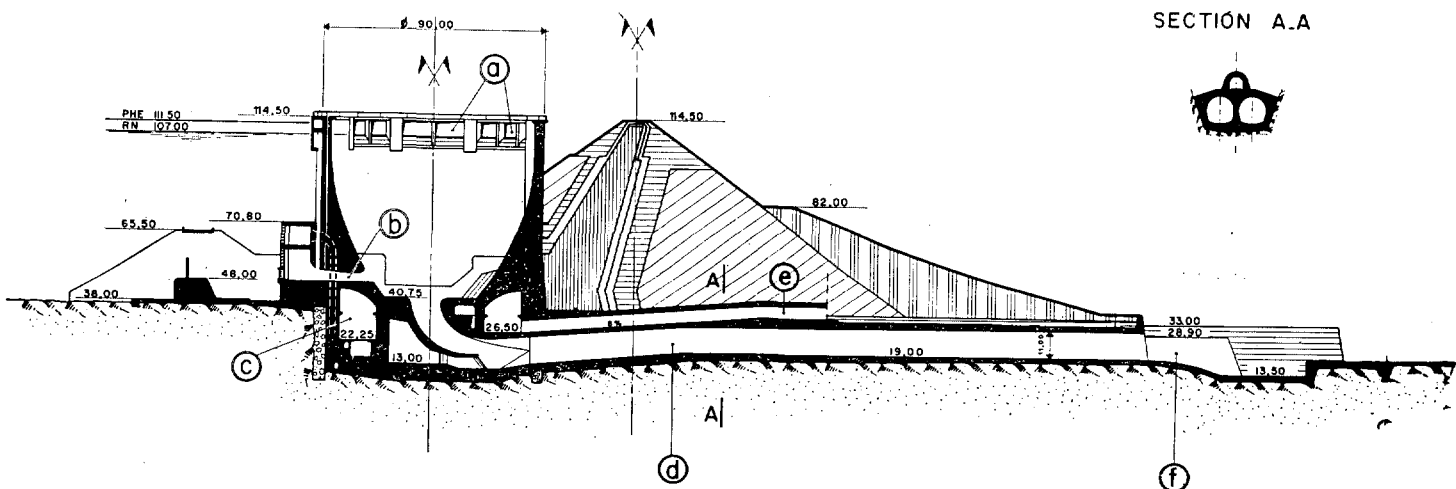


Fig. 6.—Corte según la torre y los canales de descarga: a), vertederos; b), tomas de riego; c), central; d), canales de descarga; e), galería de acceso, y f), obra de salida para los canales de descarga.



Fig. 9. — Vista parcial de la central hidroeléctrica terminada.

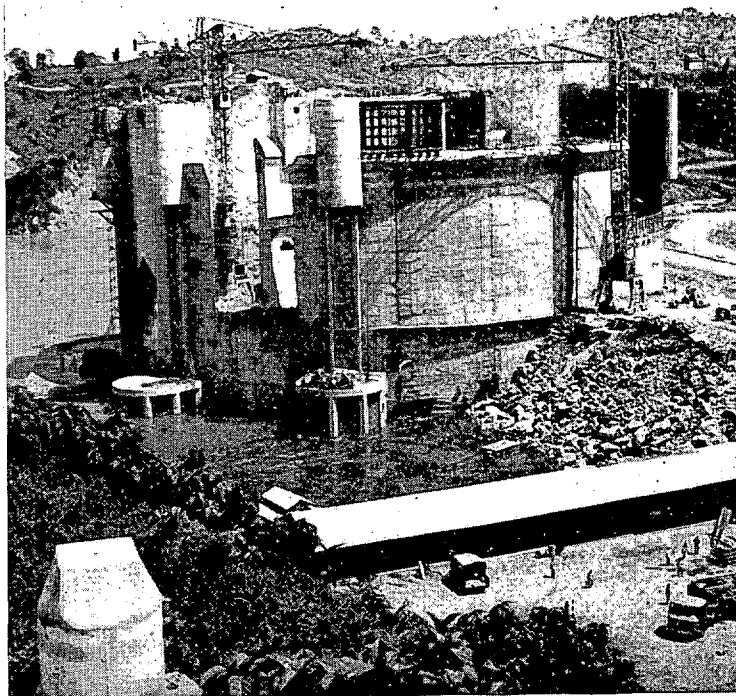


Fig. 10.—La torre en período de construcción. Se aprecian las brechas para permitir el paso de crecidas.

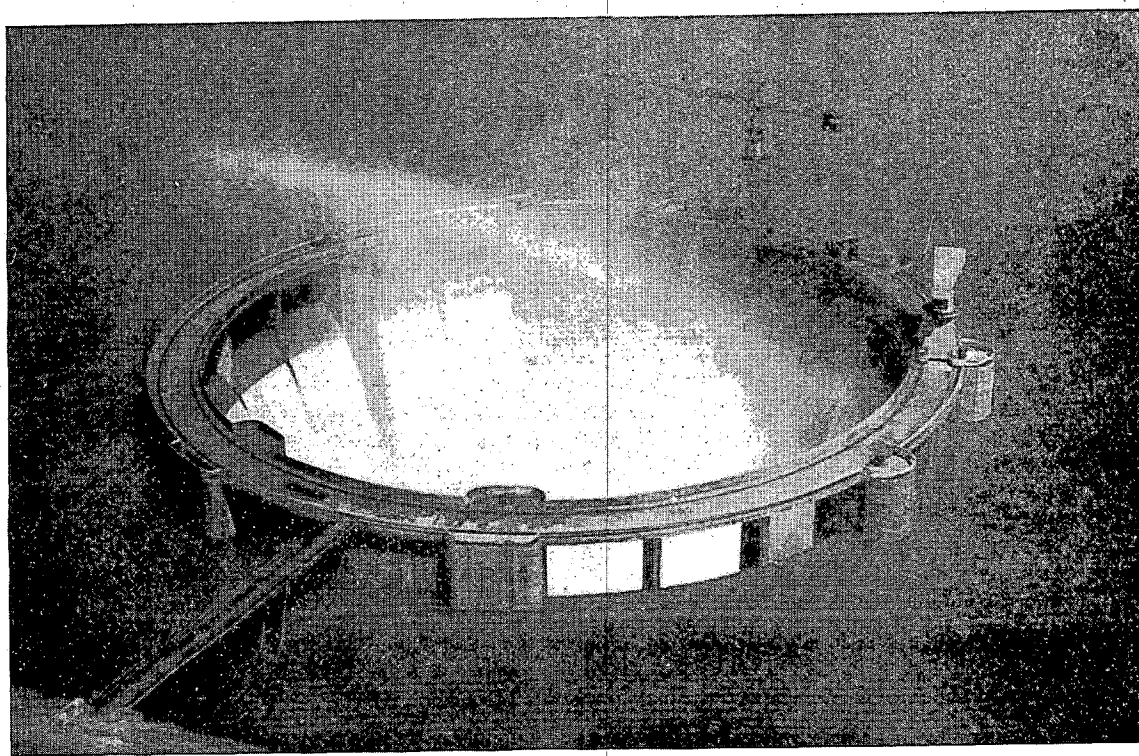


Fig. 11.—El agua vertiendo en la torre (junio 1968).

Fig. 12.—Construcción del muro exterior de la torre.

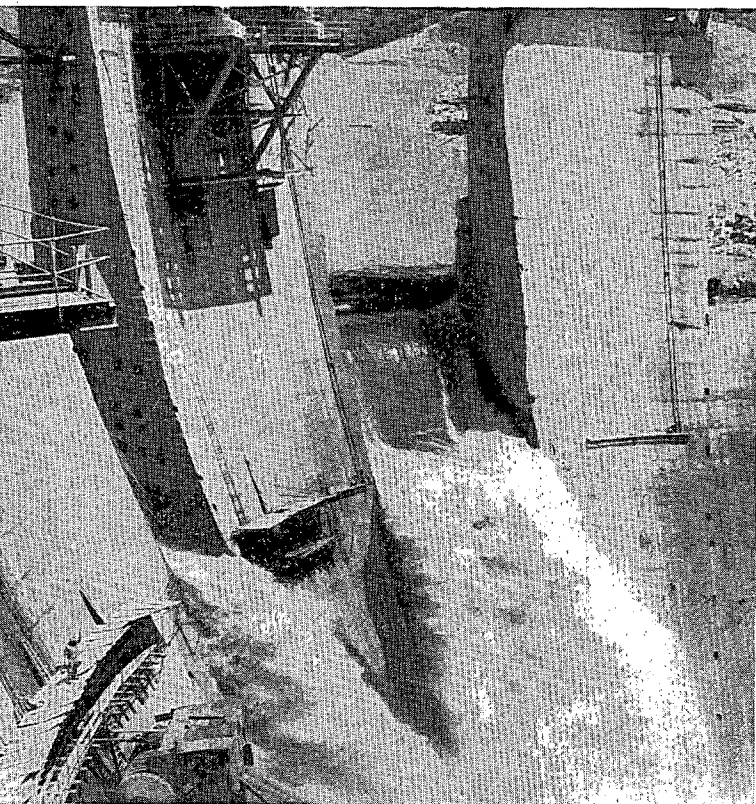
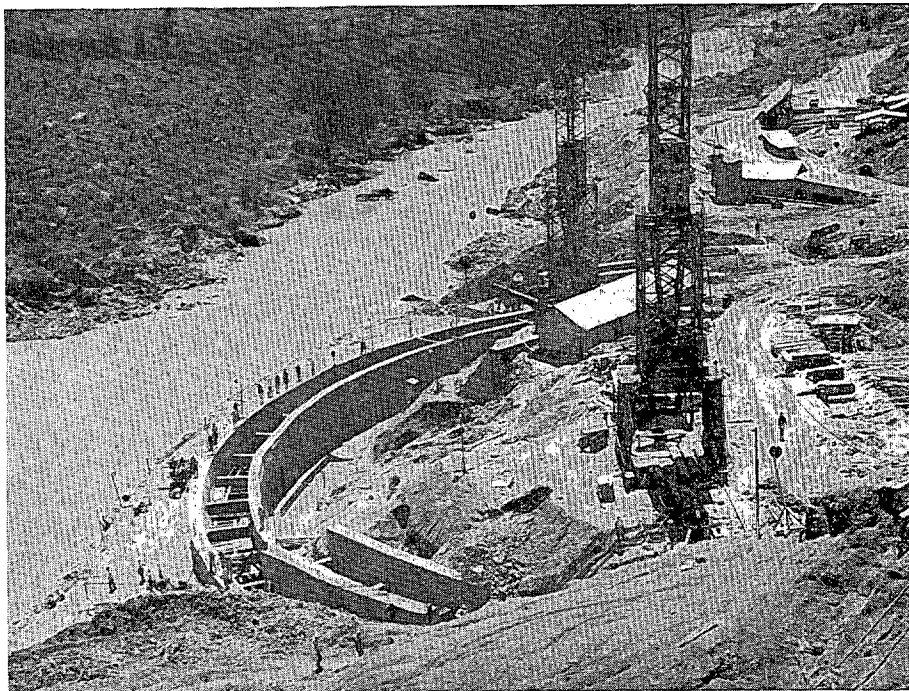


Fig. 13.—Paso de crecidas por las brechas de la torre, durante la construcción de ésta.

Paso del agua durante la ejecución.

Aprovechando un estrechamiento del valle inmediatamente aguas arriba del emplazamiento de la presa, fue posible construir de forma económica una ataguía relativamente alta (50 m.), como ya se ha indicado.

De esta forma bastó con una sola galería de derivación provisional, de 11 m. de diámetro, capaz de evacuar los caudales normales y las crecidas de importancia media, hasta 1 500 metros cúbicos segundo.

Esta galería, situada en la ribera derecha, pasa junto a la torre y se une, inmediatamente aguas abajo de ésta, al canal de descarga del lado derecho.

Habiendo sido estimada la crecida máxima durante el período de construcción en 3 000 metros cúbicos segundo, la torre fue planeada de forma tal que en todas las fases de su construcción pudiese evacuar el sobrante sobre los 1 500 m.³/seg. de la galería de derivación, conduciéndolos hacia el canal de descarga del lado izquierdo.

Con este fin se dejaron una serie de brechas en la torre, que fueron cerradas conforme avanzaba la construcción de la presa (fig. 13).

De esta forma, durante el período de construcción, la torre cumplió en todo instante su papel de aliviadero de crecidas permitiendo, antes incluso de que la presa fuese terminada, un llenado anticipado y progresivo conforme a los deseos de la dirección de las obras.

Es así que en la primavera de 1964, cuando la presa no había aún alcanzado la cota 75, el agua podía llegar cerca de la cota 72, representando un volumen de 750 millones de metros cúbicos de agua, inmediatamente utilizado para los riegos del verano siguiente.

Diques auxiliares y evacuación de crecidas.

Tanto en la ribera derecha como en la izquierda el terreno presentaba algunos puntos bajos de cota alrededor de 100, mientras que la cota de coronación del embalse principal es 114,50 (figs. 14 y 15).

Los diques.

El terreno de cimentación de los diques está constituido de una forma muy general, por arcilla, pero ésta es menos dura, más fisurada y ha sido meteorizada hasta una profundidad mayor que la que forma la base de la presa principal. En vista de la poca altura de las obras, fue eliminada la solución "hormigón", imponiéndose la solución "dique".

Las condiciones del terreno de cimentación obligaron a rechazar una solución de tipo escollera como la adoptada para la presa principal. Finalmente se mostró la más económica, y como tal fue aceptada la solución "tierra", a pesar de las condiciones climáticas (lluvias abundantes en la estación húmeda: 2,60 m. de agua por año).

El perfil transversal presenta, en general, la forma de un acento circunflejo, si bien la base de los taludes del dique cae bastante lejos, por una y otra parte del umbral natural que forma la

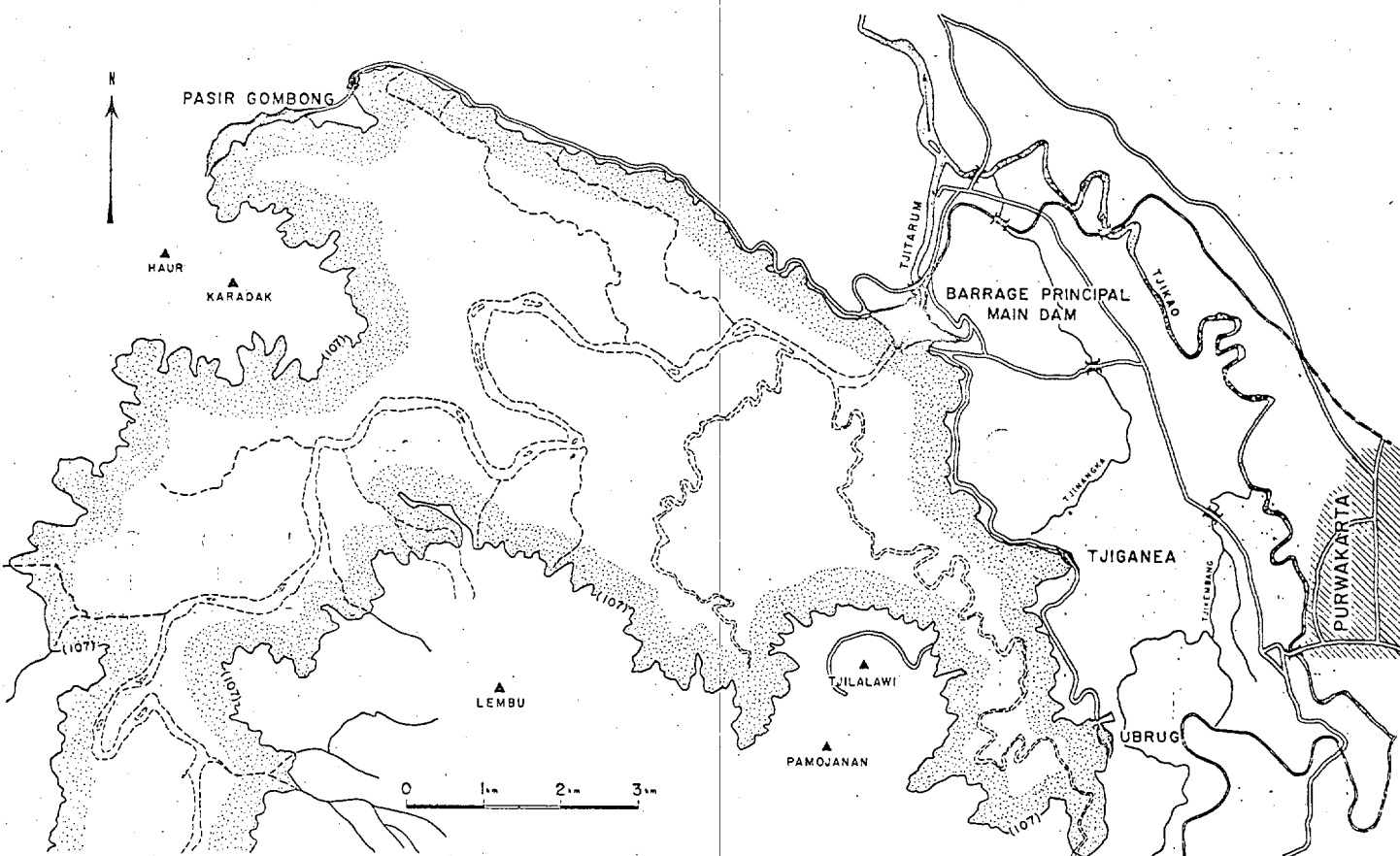


Fig. 14.—Plano de situación de la presa principal y los diques auxiliares.

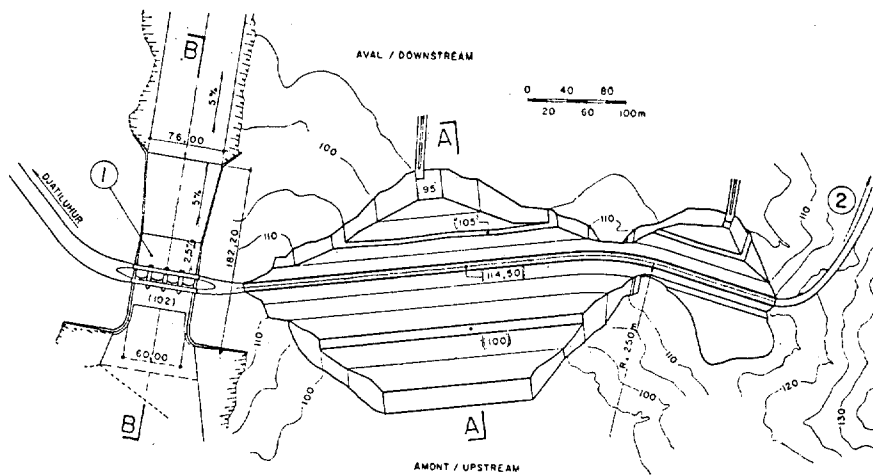


Fig. 15.—Ubrug. Vista general en planta: 1. Aliviadero de crecidas excepcionales. 2. Hacia la cantera de arenisca.

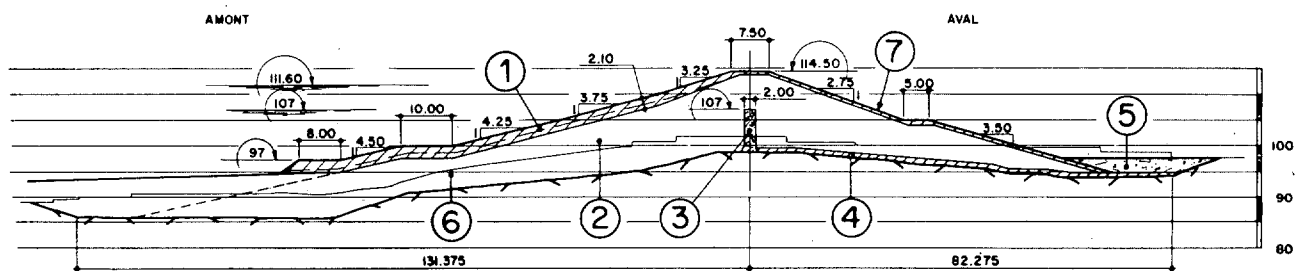


Fig. 16.—Sección del dique de Ubrug: 1. Rip-rap y capa de transición de arenisca. 2. Tierra compactada. 3. Filtro central de andesita. 4. Tapiz de drenaje. 5. Blocaje de pie. 6. Terreno natural. 7. Talud aguas abajo.

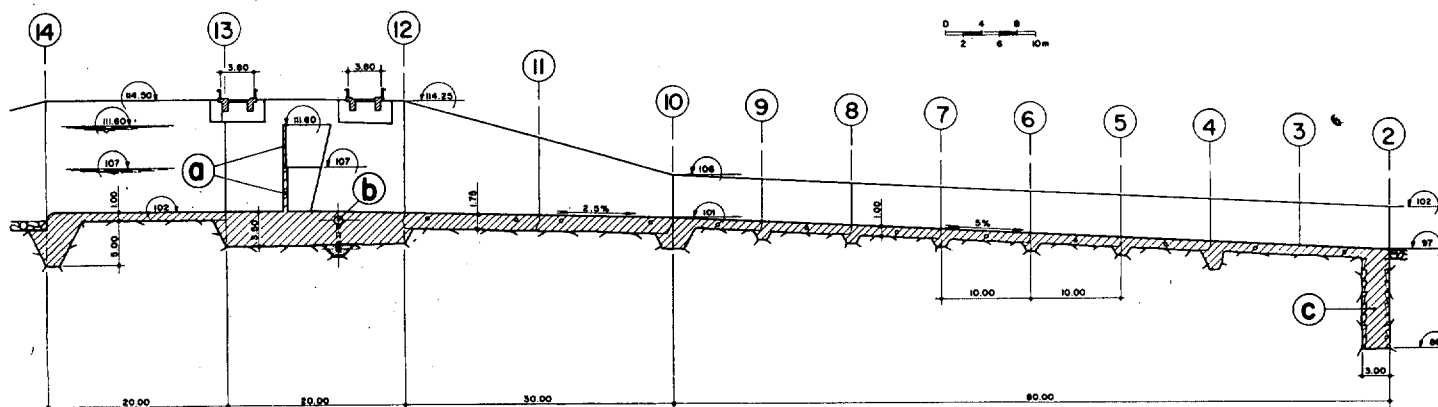


Fig. 17.—Aliviadero de crecidas (corte longitudinal): a), bóveda eliminable en dos partes; b), drenaje. c), rastrillo aguas abajo.

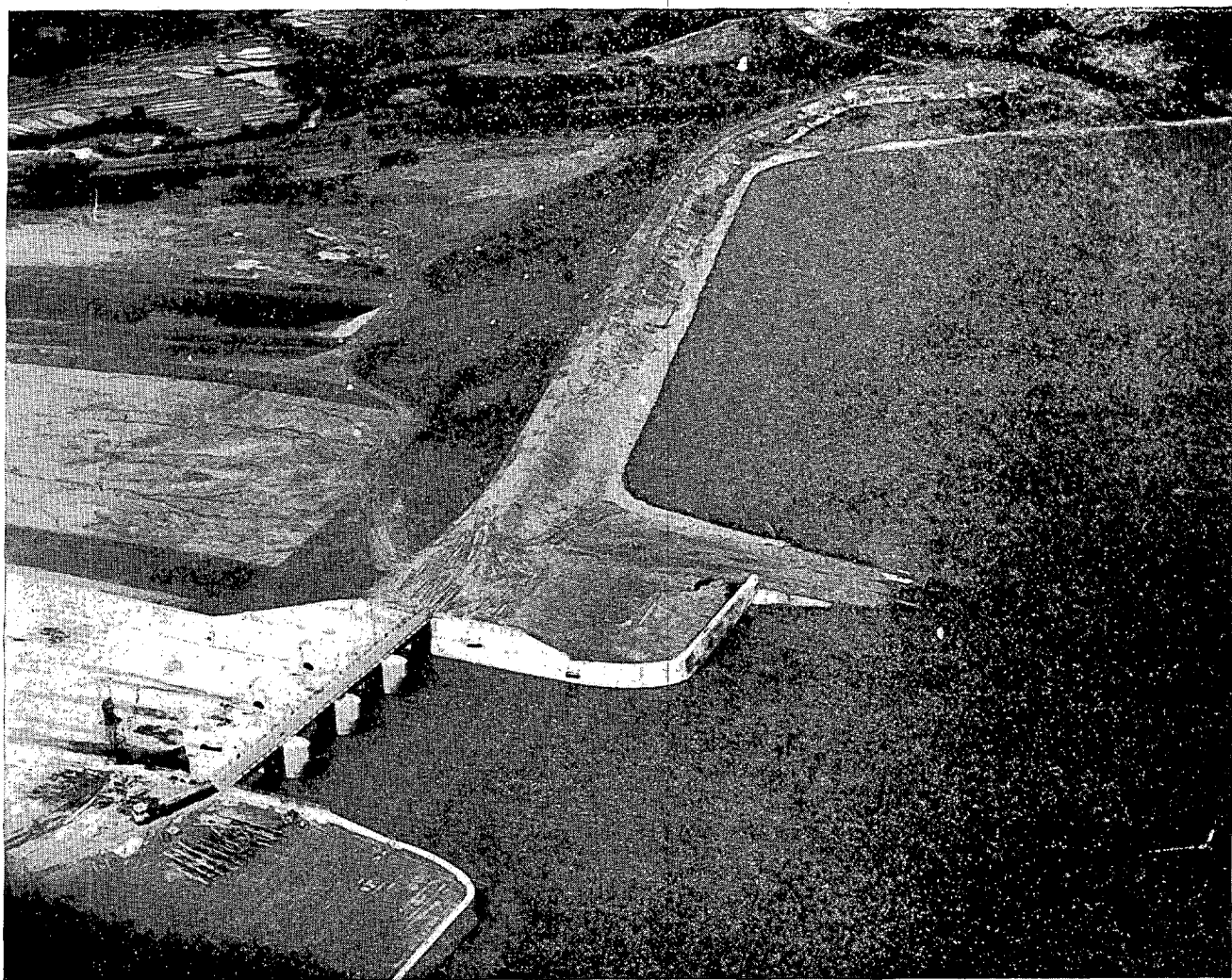


Fig. 18.—Vista general del dique y del aliviadero de crecidas de Ubrug.

línea de cresta del terreno. De esta forma la altura de los taludes alcanza unos 30 m. para los perfiles más altos (fig. 16).

El umbral o línea de cresta del terreno natural presenta, en planta, por otra parte, una línea muy sinuosa, imposible de seguir exactamente. El eje de los diques se compone, pues, en los más grandes, de alineaciones rectas unidas por arcos de círculo.

Todas estas razones hacen que, a pesar de su poca altura teórica, el volumen de estos diques alcance valores importantes. Para no citar más que los dos principales:

— Ubrug: Longitud, 500 m.; volumen total, 400 000 m.³.

— Pasir Gombong (dique oeste): 1 950 y 2 000 000 m.³, respectivamente.

El cuerpo de los diques está constituido por un terraplén homogéneo, de tierra compactada, análogo al que forma el núcleo de la presa principal. La tierra proviene de zonas de préstamos situados en la proximidad inmediata de los lugares de utilización.

En el centro, un filtro vertical, construido completamente de andesita machacada de 0-80 milímetros, permite rebajar la línea de saturación. Llega hasta la cota 107, nivel normal de embalse.

En la base se une con un tapiz de drenaje

que se extiende bajo todo el espaldón de aguas abajo.

Este tapiz de drenaje, así como la protección del talud aguas arriba (mediante rip-rap), ha sido ejecutado mediante areniscas, de una calidad mediocre, pero considerada suficiente, y que proviene de canteras abiertas a distancias razonables de las obras (1 a 3 Km.).

Una línea de pozos de control ejecutadas a lo largo del pie aguas abajo, permitirá controlar las variaciones de la capa freática en los ciementos.

Aliviadero de crecidas excepcionales.

Como ya se ha visto, la evacuación de las crecidas viene normalmente aseguradas por la torre y los canales de descarga. Sin embargo, y por consideraciones de seguridad, se ha construido un aliviadero de crecidas que permite derivar el agua por un circuito completamente independiente del anterior.

En caso de cualquier perturbación en la obra principal, por ejemplo una fuerte sacudida sísmica que coincida con una crecida, se tiene así la posibilidad de bajar rápidamente el nivel del agua y mantener posteriormente esa obra principal en seco durante la duración de las reparaciones.

Dada la poca posibilidad de puesta en servicio de este aliviadero, su caudal nominal ha sido fijado en un valor sensiblemente inferior al del aliviadero principal: 2 000 m.³/seg. en lugar de 3 000 m.³/seg.

El sitio escogido es la colina de Ubrug, situado en la orilla derecha, y al cual ya se ha hecho referencia al hablar de los diques.

Esta colina domina, del lado aguas abajo, un pequeño valle que se une al del Tjikao, afluente del Tjitarum, a unos 2 Km. aguas abajo de la presa.

La obra se compone esencialmente de un canal de hormigón, de 60 m. de anchura a nivel de solera y de cerca de 180 m. de longitud (figuras 17 y 18).

La sección de control incluye cuatro vanos de 12,40 m. de ancho, separados por pilares de 3,50 m. de espesor.

En los dos vanos centrales se ha previsto la instalación posterior de compuertas de sector.

En una primera fase, estos vanos están simplemente obstruidos por bóvedas de hormigón. En caso de necesidad, cada una de ellas puede

ser destruida independientemente de las otras, y además en dos partes: la parte superior en primer lugar, de 107 a 111,60, y la parte inferior a continuación, de 102 a 107.

En el extremo aguas abajo de la obra, un profundo rastrillo de hormigón protege a ésta contra un eventual descalce. En dirección aguas arriba la obra se prolonga en una gran trinchera abierta en el terreno natural, y que alcanza el lecho del afluente mencionado. Su solera está recubierta de escollera en arenisca.

Ejecución de las obras.

El proyecto de las obras principales ha sido confiado por el Gobierno indonesio a un grupo de empresas francesas (dirigidas por la Compagnie Française d'Entreprises), según contrato firmado tras un concurso internacional. La dirección de los trabajos ha sido realizada por la administración indonesia, asistida por los ingenieros consultores y autores del proyecto, Coyne y Bellier.

Los diques y el aliviadero de crecidas extraordinarias, por el contrario, han sido ejecutadas por la propia administración indonesia, con la asistencia técnica de ingenieros y especialistas extranjeros, puestos a su disposición por el ingeniero consultor y diversas empresas especializadas en los respectivos problemas.

De esta forma, los cuadros de la Administración de Indonesia han podido aprovechar la experiencia en este género de trabajos adquirida con ocasión de las obras principales.

En el plano de la ejecución propiamente dicha, hay una particularidad interesante que merece ser señalada: la parte principal de los suministros necesarios para los diques, principalmente los materiales machacados para la ejecución del núcleo central, los carburantes y lubricantes para la maquinaria, etc., han sido transportados hasta el mismo pie de las obras aprovechando el embalse ya existente (hasta la cota 90). Con este fin se han utilizado unas barcasas o escampavías de 200 Tn., propulsadas por motores de 180 CV. Tanto las embarcaciones como el equipo propulsor fueron montados en obra tras ser transportados por elementos.

El equipo electromecánico de la obra y la presa ha sido suministrado y puesto en obra por un consorcio franco-italiano (Cogellex-Neyrpic - G.I.E.).