

# embalse de la laguna de Barlovento

la Palma, Canarias • España

Proyecto primitivo:  
CARLOS FORTEZA STEEGMANN, Dr. Ing. C.C.P.

Proyecto reformado:  
RICARDO SANCHEZ GARCIA, Dr. Ing. C.C.P.

531-71

**sinopsis** Se describen en este artículo los diversos estudios y las obras necesarias para acondicionar la depresión natural existente, utilizándola como embalse, aunque la idea conceptual es más bien la de un depósito de grandes dimensiones; análisis de barrancos, construcción de las conducciones de trasvase precisas para su llenado, de canales, túneles, tuberías y azudes; solución más idónea de los problemas de vaciado, etc.

La superficie total de cuencas trasvase es de 2.562 ha, estando constituida la configuración geométrica del depósito por una superficie reglada engendrada por una directriz quebrada que se apoya en dos óvalos concéntricos a las cotas 732 y 695; el superior tiene 615 × 510 m, y el inferior, 249 × 144 m. La cota máxima de embalse es de 730 (con 2 m de resguardo para absorber sobre elevaciones, en avenidas y oleajes, y en cumplimiento de la Instrucción para diques de tierra), con lo cual su capacidad es de unos 5.450.406 m<sup>3</sup>.

## I. CONSIDERACIONES GENERALES

### 1. ANTECEDENTES Y OBJETO DEL PROYECTO

La construcción de un embalse en la Laguna de Barlovento estaba ya planificada por este Servicio Hidráulico desde hace años; en septiembre del año 1967 el Servicio redactó el proyecto de colaboración para la contratación de los servicios técnicos necesarios a la redacción del proyecto correspondiente, el cual mereció la aprobación de la Dirección General de Obras Hidráulicas con fecha 21 de octubre del año 1967. Este Ministerio de Obras Públicas, con fecha 16 de diciembre del año 1967, resolvió autorizar la contratación directa de los servicios técnicos correspondientes, con sujeción al Pliego de Cláusulas administrativas y particulares aprobado anteriormente, adjudicándose el contrato a la Empresa de Ingenieros Consultores Torán y Cía., Sociedad Limitada.

El objeto de este proyecto es acondicionar la depresión natural denominada Laguna de Barlovento para su utilización como embalse y, también, diseñar las conducciones de trasvase que aporten aguas suficientes para llenarlo anualmente.

### 2. SITUACION DE LAS OBRAS

La Laguna de Barlovento, antiguo cráter volcánico, está situada a la cota 700, aproximadamente, en la vertiente nordeste de la isla

de La Palma, en las estribaciones de la falda septentrional de la Caldera de Taburiente. Los barrancos cuyas aguas de escorrentía se trasvasan al embalse drenan asimismo la citada falda septentrional, y son todos aquellos comprendidos entre el Barranco del Agua, al este, y el Barranco de los Franceses, al oeste. El embalse está situado en las inmediaciones del pueblo de Barlovento, y al pie del vértice geodésico Laguna de Barlovento, cuya cota es 796 m.

El Barranco del Agua desagua al mar en las inmediaciones del pueblo de San Andrés, y el de los Franceses, a través del cerro denominado Lomo de los Castros.

### 3. CONDICIONAMIENTO HIDROLOGICO

La Laguna de Barlovento, a efectos de escorrentías, no tiene cuenca propia y la extensión vertiente en ella, que es de 46 ha, de las cuales 25 son las de superficie propia del embalse, debe tenerse en cuenta solamente a efectos de avenidas extraordinarias en el embalse. Esta superficie vertiente directamente al embalse producirá unas avenidas extraordinarias de unos 4 m<sup>3</sup>/s, considerando que el caudal específico de avenidas es de 8 m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>, cifra evidentemente conservadora respecto a los valores usuales en las Islas Canarias.

Para poder, por lo tanto, aportar aguas al embalse, éstas han de traerse de los barrancos próximos. Se han realizado numerosos estudios climatológicos e hidrológicos, siendo de



#### 4. CONDICIONAMIENTOS GEOLOGICO Y GEOTECNICO

Por lo que se refiere a las conducciones de trasvase, y aunque no se han realizado estudios geológicos específicos para las mismas, se puede asegurar que no se presentarán problemas derivados de resistencia escasa en la roca, pues, como ya se comentará más adelante, los dos canales colectores de los trasvases se construyen totalmente en túnel, atravesando las divisorias entre barrancos y entrando, por lo tanto, en masas rocosas sanas de origen basáltico.

El único problema geológico que se presenta en la Laguna de Barlovento es el de su permeabilidad, ya que las arcillas que tapizan el fondo de la depresión son excesivamente filtrantes. En el citado documento se propone mejorar la permeabilidad de este material mediante compactación, pero ello daría lugar, no obstante, a unas pérdidas por filtración que alcanzarían los 150 l/s como media, lo cual es una cifra demasiado alta dada la escasez de recursos utilizables y la tradicional ausencia de agua en la Isla de La Palma. Por ello, es preciso utilizar otros sistemas de impermeabilización, que podrían ser, o bien el de una pantalla de hormigón bituminoso, o bien revestir todo el vaso con mezcla de cemento, bentonita u otras arcillas activas con las arcillas de tipo halloysítico que se encuentran en la depresión natural. De antemano se rechaza la condición de impermeabilizar mediante pantallas rígidas de hormigón, porque habría un fuerte riesgo de rotura de las mismas por asentamientos de los rellenos de regularización del vaso, teniendo en cuenta que la carga de agua máxima es de 35 m.

No hay duda de que sería posible utilizar las halloysitas tratadas convenientemente para la impermeabilización del vaso, pero para decidir sobre ello sería preciso realizar una campaña de ensayos geotécnicos.

#### 5. ESTUDIO DE NECESIDADES

Se han analizado las necesidades de agua que vendrá a cubrir el embalse de la Laguna de Barlovento, enfocado fundamentalmente a la alimentación del canal Barlovento-Fuencaliente que está actualmente en construcción. De este estudio de necesidades y en el supuesto de que se mantenga el régimen de aportación al canal inicialmente previsto, se-

gún el cual las aguas transportadas por esta obra provendrán de las escorrentías captadas en su trazado, de las aportaciones de aguas de galerías intermedias y de las entregas del embalse de la Laguna de Barlovento, este último debería destinar 4,95 hm<sup>3</sup> anuales para este fin, con lo cual esta obra cuenta con casi 0,62 hm<sup>3</sup> anuales más para ser aprovechados, o bien en una sustitución de las aguas de otras procedencias del canal Barlovento-Fuencaliente, o bien en la alimentación del nuevo canal programado que va desde Garafía a Tijarafe.

En cualquier caso, el balance de necesidades de agua de la Isla de La Palma recomienda que con esta obra se consiga la máxima capacidad técnica y económicamente posible, pues uno de los objetivos fundamentales de este embalse ha de ser el poder utilizar sus volúmenes de agua en la normalización del régimen de oferta y demanda de agua que existe actualmente en la Isla.

#### 6. CRITERIOS BASICOS DEL PROYECTO

Con lo que se ha expuesto hasta el momento y los criterios justificativos de las obras que se expondrán en el siguiente capítulo, es como se ha llegado a definir el conjunto de criterios básicos que han orientado la redacción de este proyecto:

- La capacidad del vaso ha de ser tan grande como sea posible conseguir con soluciones técnicas viables.
- La impermeabilización de la superficie de la Laguna de Barlovento ha de ser artificial; se requieren unos taludes que no sean superiores a uno en vertical por dos y medio en horizontal, para que la construcción de las obras necesarias sea posible, al menos de acuerdo con los procedimientos actualmente en uso.
- Lo anterior impone que la Laguna de Barlovento no pueda ser impermeabilizada por encima de la cota 732, pues, además del condicionamiento de impermeabilización, existe la inconveniencia de construir otro dique además del previsto, que sería preciso caso de que se superase la cota anterior.
- El dique de cerramiento, que es preciso construir en el borde oriental de la depresión natural para cerrar el vaso de la cota 732, es una obra que por su altura media de 12 m no tiene dificultad técnica apre-

ciable y, por lo tanto, su diseño ha sido adaptado para cumplir preferentemente una función de compensación entre los volúmenes de tierra excavados y los volúmenes terraplenados, en definitiva, como un verdadero seleccionado de los materiales de excavación, donde detalladamente se comparan económicamente distintas soluciones geométricas para la forma del vaso. La escasa entidad del dique de cerramiento y su sobredimensionamiento estructural hacen innecesarios los dispositivos de auscultación de esta obra.

- La forma geométrica del vaso ha sido diseñada con vistas a conseguir el máximo volumen de embalse que sea posible con el mínimo movimiento de tierras compensado en excavación y relleno; por otra parte, dicho movimiento de tierras debe ser el suficiente para poder obtener una superficie regularizada del vaso y cuyas pendientes no superen al tope fijado en la primera consideración que se ha expuesto en este apartado.
- Las conducciones de trasvase son obras que serán utilizadas anualmente en un tiempo no mayor de 4 días, lo cual aconseja que su diseño no ofrezca complicaciones innecesarias y tienda, por el contrario, a conseguir la máxima sencillez de funcionamiento y de construcción, teniendo en cuenta para esto último, además, que su trazado discurrirá en general por zonas a las cuales es enormemente dificultoso el acceso.
- El relieve de los barrancos y de las divisorias entre los mismos es muy accidentado y, en general, aconseja e, incluso en gran parte de la zona, obliga a construir en túnel los canales colectores. Por otra parte, la construcción en túnel es una técnica dominada por los naturales del lugar; sabido es que hoy por hoy la casi totalidad de los recursos hidráulicos de la Isla de La Palma provienen de aguas alumbradas en galerías subterráneas que en algunos casos sobrepasan los 3 km de longitud. Prácticamente, todas estas galerías se construyen con secciones rectangulares, cuyas dimensiones mínimas son de 1,50 × 1,80 m sin revestir.
- La única finalidad que tiene el revestimiento de los túneles en los canales colectores es alisar su superficie para conseguir en ellos un buen rendimiento de transporte hidráulico, ya que no es preciso confiar al revestimiento ninguna función resistente,

dada la perfecta calidad, a estos efectos, de la roca que se ha de perforar.

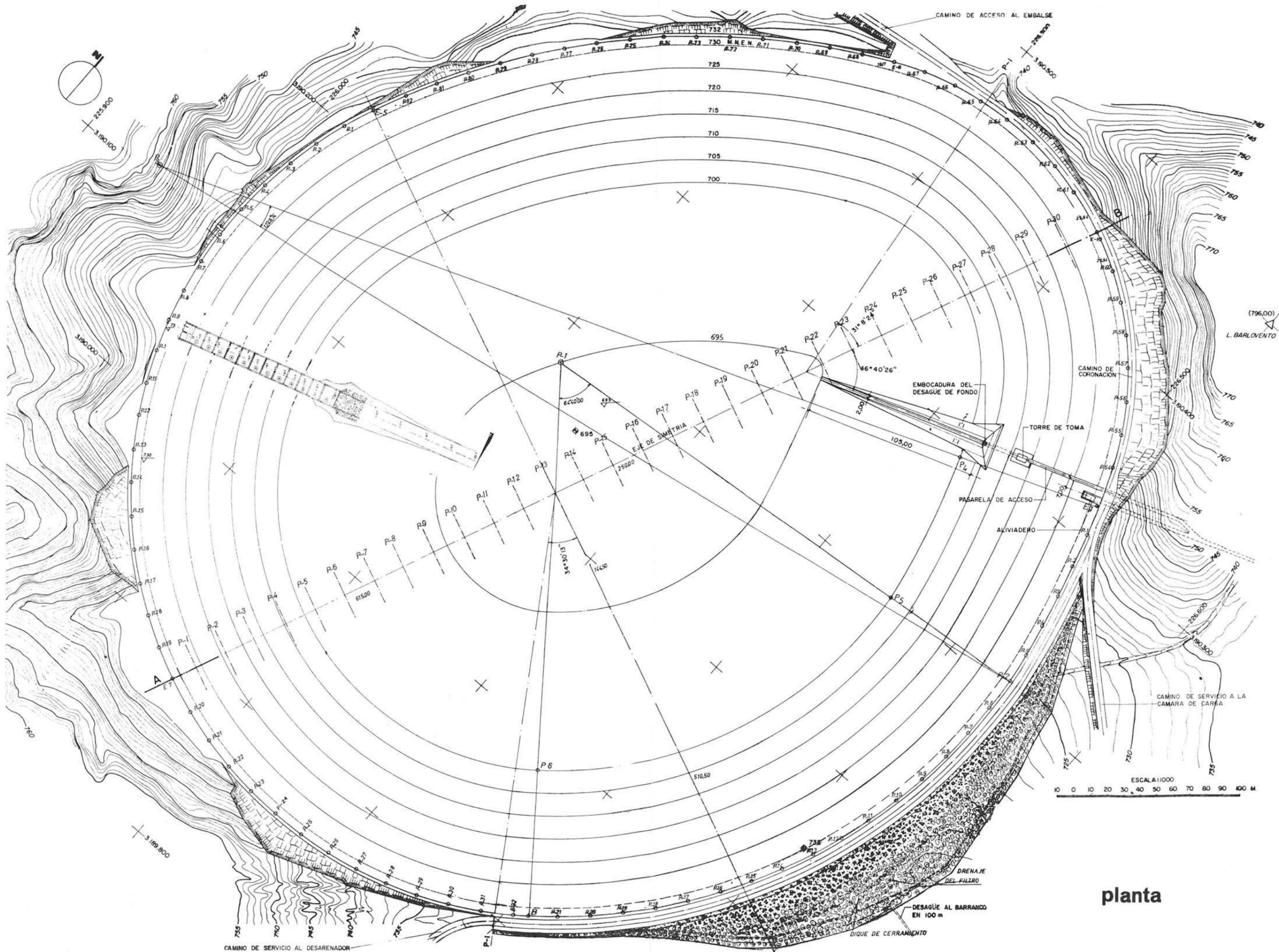
- Los azudes que retienen las aguas en los barrancos para ser derivadas a los canales colectores no tienen estructuralmente ninguna dificultad, pues la altura del mayor no supera los 12 m. El condicionamiento esencial para los mismos es el de conseguir su buen funcionamiento incluso como fuertes aterramientos en el barranco, por ello se ha dispuesto un tipo de azud abierto, cubierto en su parte superior por una rejilla formada por perfiles laminados, la cual presenta una inclinación hacia aguas abajo suficiente para que se impida que encima de ella queden depositados arrastres. Este tipo de azud ha sido ya utilizado con éxito en barrancos con condicionamiento similar a los que ahora se considerarán.
- Las conducciones de trasvase han de estar provistas de controles que garanticen la imposibilidad de que queden sobrecargadas respecto a sus caudales de cálculo, así como de que se puedan conducir al embalse volúmenes de agua que hagan sobrepasar la cota de máximo embalse normal. Por ello cada azud de los canales colectores está provisto de un aliviadero frontal destinado a evacuar los excesos sobre el caudal previsto y, además, dada la inseguridad en el cálculo de las avenidas previsibles, se ha dispuesto también un aliviadero lateral en el canal inmediatamente aguas abajo del azud. Los dos canales colectores tienen en su parte final un desarenador, del cual forma parte un aliviadero. La mayoría de los azudes de los canales colectores disponen de compuertas de cierre que se utilizarán en el caso de avenidas extraordinarias que no puedan ser evacuadas por los aliviaderos previstos.

## II. JUSTIFICACION Y DESCRIPCION DE LAS OBRAS

### 1. OBRAS DE TRASVASE

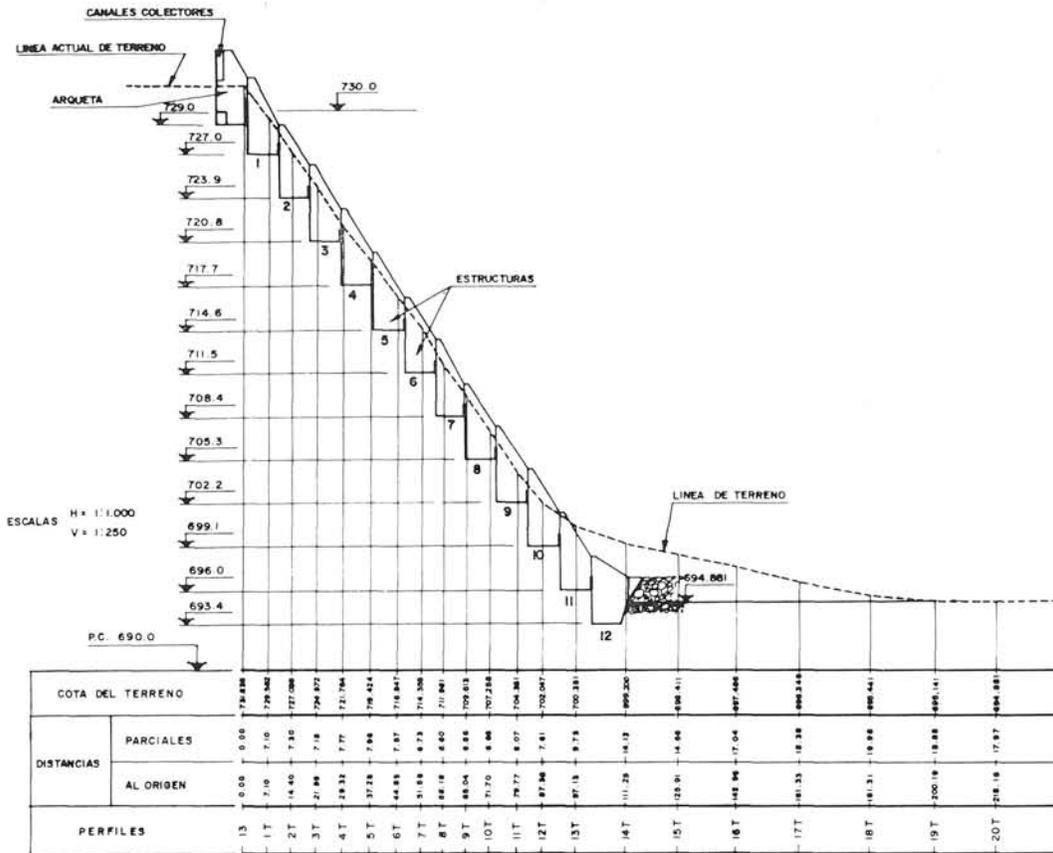
#### 1.1. Barrancos trasvasados

Como ya se ha dicho en el apartado 3 del capítulo I de este artículo, los barrancos que en un principio se seleccionaron para el trasvase de sus aguas de escorrentía al embalse de Barlovento, son los comprendidos entre el



planta

# perfiles



Por lo que se refiere a la cota a la cual ha de efectuarse la derivación de las aguas, ésta viene fijada por la cota 732, mínima a la cual se puede desaguar en el embalse de Barlovento, y por la pendiente longitudinal fijada para los canales colectores. Con arreglo a este condicionamiento las cotas de toma en cada uno de los barrancos son las siguientes, advirtiéndose que las citadas cotas son las de la solera del canal en el eje del barranco:

Barranco:	Cota de toma
Topaciegos ... ..	734,38
Gallegos B ... ..	735,90
Franceses A ... ..	790,20
Franceses E ... ..	855,20
Herradura ... ..	734,40
Del Agua ... ..	751,00

### 1.2. Sistema general de trasvase

La situación topográfica de los barrancos trasvasados aconseja derivar las aguas mediante dos canales colectores. Estos dos canales colectores se han denominado del Sur y del Oeste: el primero deriva las aguas de los barrancos del Agua y de la Herradura, y el segundo las de los restantes. El trazado de ambos es en su mayor parte en túnel, y tiene como característica específica su flexibilidad, entendida ésta en el sentido de que, contemplada la obra como trasvase sucesivo de aguas de un barranco a otro hasta el final, desde donde se conducen al embalse, las cotas de salida y llegada de cada uno de los túneles intermedios no prejuzgan con exactitud la de los restantes. Con ello se quiere dar una posibilidad de alterar ligeramente el trazado de cada túnel, si ello fuera preciso por excepcionales circunstancias aparecidas durante la excavación.

El canal colector del Oeste conduce las aguas de los barrancos captados directamente, que son los de Franceses E, Franceses A, Gallegos B, Topaciegos.

### 1.3. Caudales y secciones tipo

El canal colector del Sur comienza en el Barranco del Agua, y su primer tramo termina en la obra de vertido al Barranco de la Herradura, por lo tanto, en él, conforme a los datos presentados en el apartado 1.1 de este capítulo, el caudal de cálculo ha de ser 5,68 m<sup>3</sup>/s. Después de captar las aguas del Barranco de

la Herradura, este canal colector no tiene ninguna aportación nueva de caudales, lo cual quiere decir que, a partir del azud de toma en el citado barranco, el caudal de cálculo del canal ha de ser 7,98 m<sup>3</sup>/s. Este mismo caudal es el que debe evacuarse por el aliviadero del desarenador.

El canal colector del Oeste comienza en el Barranco Franceses E y su primer tramo, sin captar ninguna aportación intermedia, desagua en el Barranco Franceses A, por lo tanto, en este intervalo el caudal de cálculo ha de ser 2,85 m<sup>3</sup>/s, aportado por el Barranco Franceses E. Después, sin ninguna captación intermedia, se desarrolla el segundo tramo en túnel hasta el vertido en el Barranco Gallegos B; quiere decirse que en este tramo el caudal de cálculo ha de ser 3,82 m<sup>3</sup>/s, suma de los 2,85 m<sup>3</sup>/s del tramo anterior y del caudal del barranco captado. En el Barranco Gallegos B se captan solamente las aguas propias, y desde este punto se desarrolla el tercer tramo en túnel hasta su vertido en el Barranco Topaciegos A, con un caudal de cálculo de 7,16 metros cúbicos/segundo.

En el Barranco Topaciegos A se captan las aguas propias, y el caudal de cálculo para este cuarto tramo del canal colector del Oeste ha de ser de 7,39 m<sup>3</sup>/s.

Las secciones tipo de todos los túneles son rectangulares rematadas en su parte superior con un arco circular peraltado en 0,50 m; el ancho de solera es igual a la altura revestida, la cual, a su vez, es igual a la altura de lámina de agua más un pequeño resguardo, variable en cada caso. Las secciones a cielo abierto son también rectangulares, similares a las de los túneles correspondientes; la diferencia estructural reside en un reforzamiento de los cajeros y de la solera para hacerlos resistentes a los esfuerzos exteriores.

El revestimiento de los túneles se efectúa con una capa de 45 cm de espesor ejecutada con hormigón en masa de 150 kg de cemento.

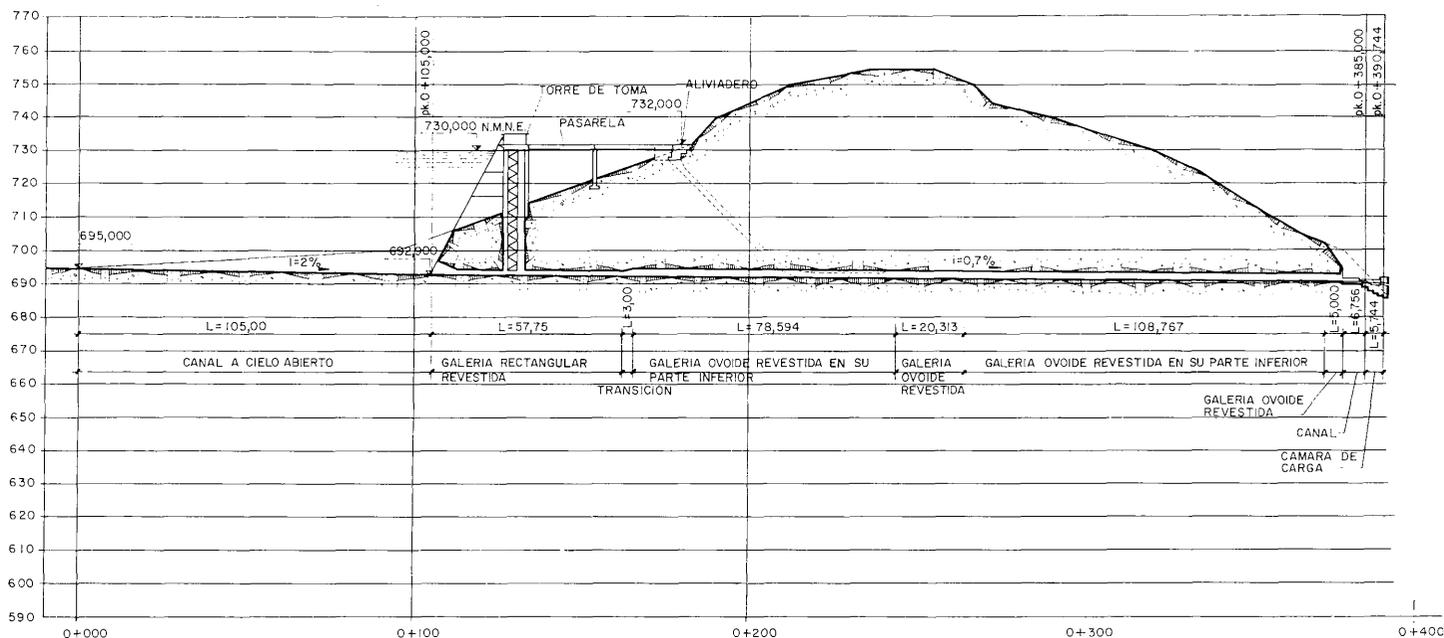
Se han realizado los correspondientes cálculos hidráulicos mediante los cuales se justifica el dimensionamiento hidráulico específico de cada sección tipo.

### 1.4. Trazado del canal colector Sur

El trazado comienza en el Barranco del Agua, en donde las escorrentías se captan con el azud correspondiente; a continuación del mis-



## perfil longitudinal desagüe y aliviadero



tud; su sección tipo es la T-2. En su final se dispone un azud ciego, denominado tipo B; a partir de este azud se desarrolla otro tramo en túnel con la misma sección que el anterior, cuya longitud es de 666,18 m. Desde el Barranco de la Herradura hasta este azud la pendiente de la conducción es 0,0011, con lo cual la velocidad del agua en el canal es de 1,9 m/s.

A continuación se encuentra el desarenador de este canal colector, que ocupa una longitud de 37 m en el trazado; a la salida se emboquilla un túnel con sección tipo T-2, que tiene una longitud de 230,18 y una pendiente de 0,0011; la velocidad del agua es igual a la anteriormente indicada para la misma sección tipo. Al final de este túnel se ha proyectado la obra de vertido al embalse.

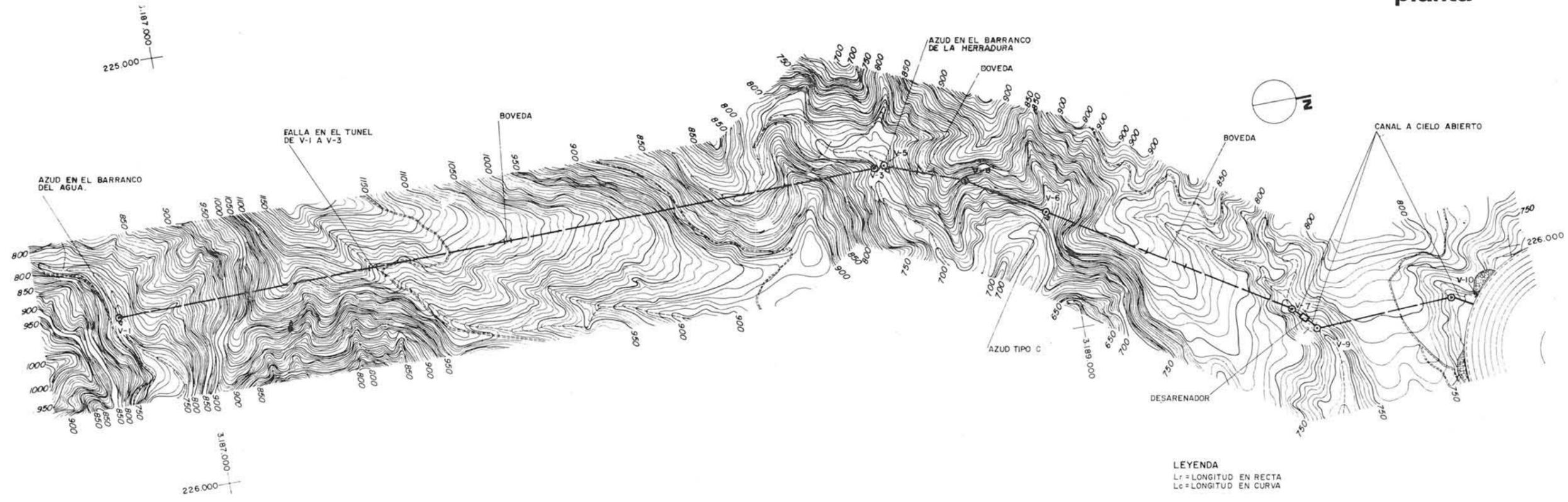
### 1.5. Trazado del canal colector Oeste

El canal comienza en el Barranco Franceses E, con un azud de toma. A su salida comienza un tramo en túnel de 1.385 m.l., la sección tipo es la T-3 y la pendiente longitudinal es de 0,0021, con lo cual la velocidad del agua es de 2 m/s, que es el valor fijado como máximo. Este túnel vierte en el Barranco de los Franceses A, cauce en donde se vuelven a captar las aguas con un azud de toma, y a partir del cual se desarrolla un tramo en túnel de sección T-4, que tiene 1.477 m de longitud; la pendiente longitudinal es de 0,0015 y la velocidad del agua es de 1,9 m/s. Este tramo vierte en el Barranco Gallegos B.

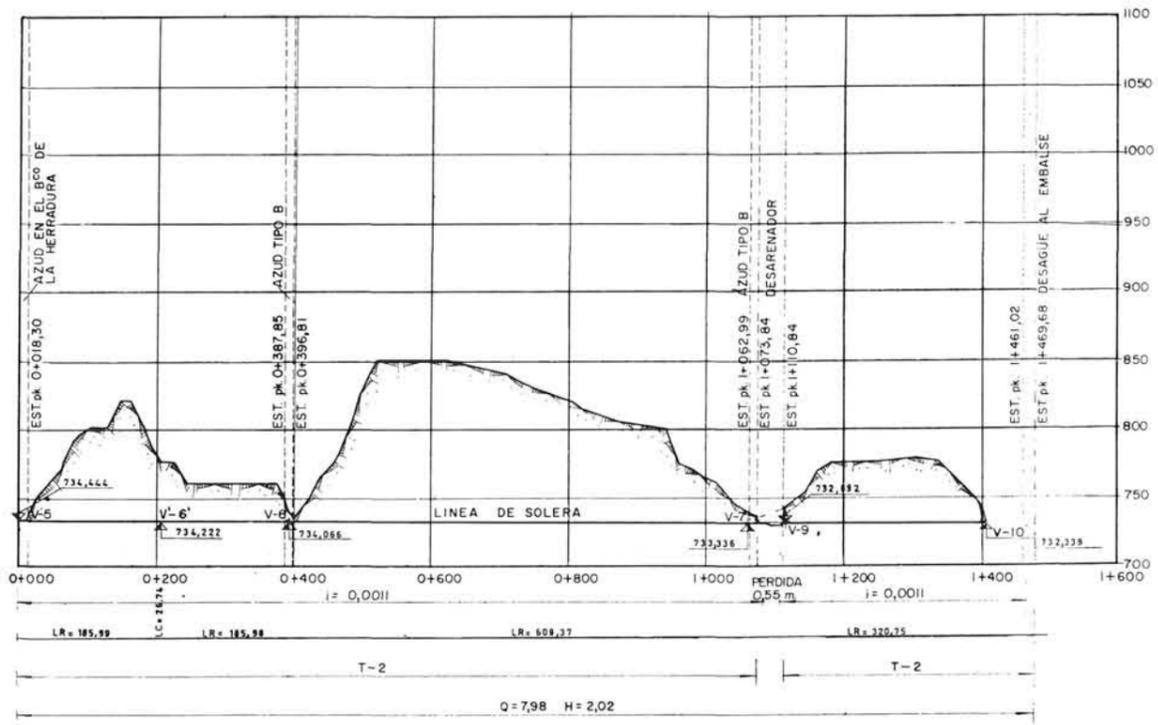
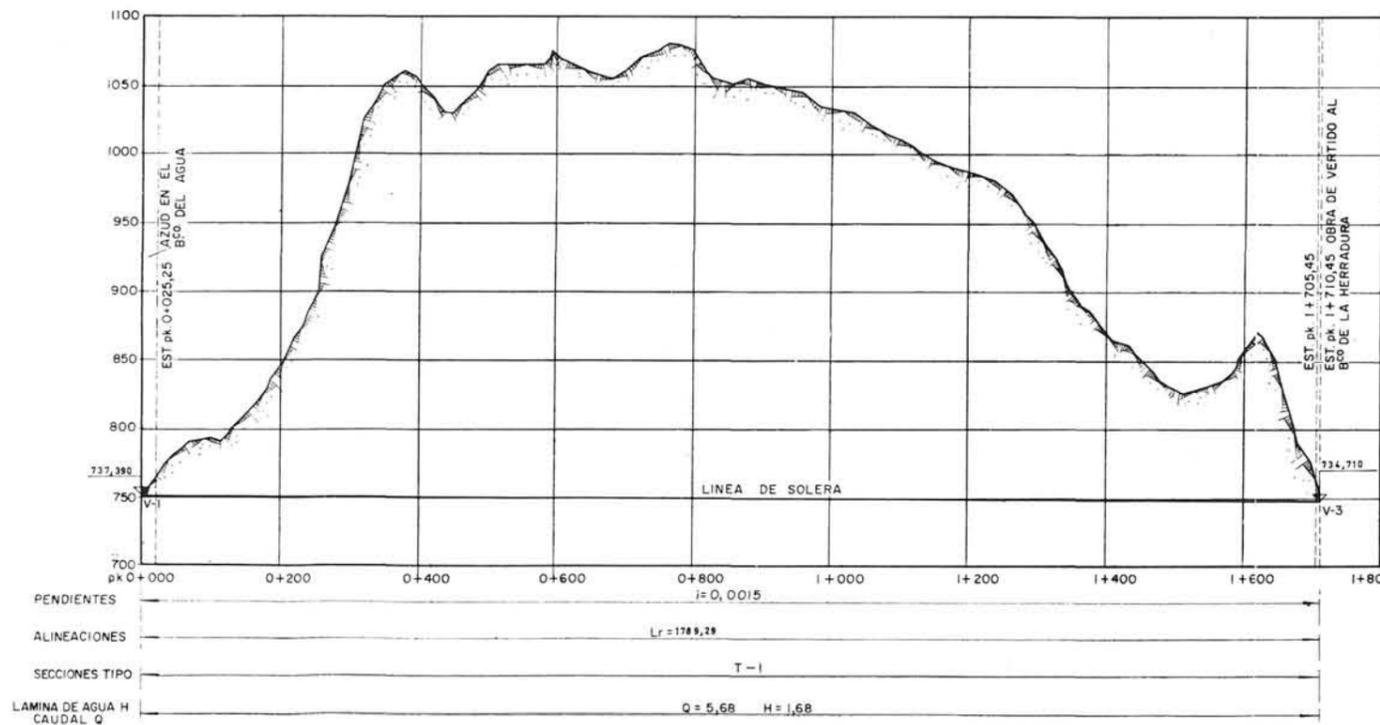
El cuarto tramo en túnel comienza con un azud de toma en el Barranco Gallegos B, a continuación del cual se desarrolla un túnel de 1.584 m que tiene una sección tipo T-5 con una pendiente longitudinal de 0,0010, con lo cual la velocidad del agua es de 1,85 m/s. Este tramo termina en un azud tipo C, con el cual se captan las aguas del Barranco Topaciegos. A continuación se presenta un tramo en túnel de 984 m de longitud, cuya sección tipo es la T-6 y su pendiente longitudinal 0,0010, con lo cual la velocidad del agua es de 1,9 m/s. A continuación se dispone el desarenador de este canal colector, que ocupa una longitud de 27,50 m y a partir del cual vuelve a presentarse un tramo a cielo abierto con sección tipo R-1 y una longitud de 47,37 m a cuyo final se emboquilla otro túnel de la conducción, que tiene una longitud de 217 m. La sección tipo es la T-7; la pendiente longitudinal y velocidad coinciden con las de la anterior sección R-1. Al final de este canal, lo mismo que sucede en el canal colector Sur, se proyecta la obra de vertido al embalse.

### 1.6. Azudes

Los azudes en los barrancos del Agua, de la Herradura, Franceses E, Franceses A y Gallegos B, son todos ellos de la misma forma. En general, la obra consiste en un azud convencional, en cuyo cuerpo, y atravesándolo transversalmente al barranco, se dispone un canal en donde se vierten las aguas a través de una rejilla superior que impide el paso de los acarros cuyo tamaño sea superior a



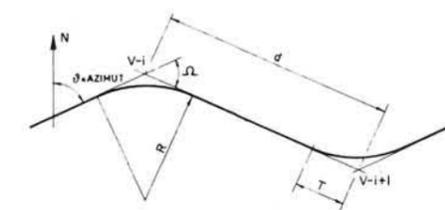
LEYENDA  
 Lr = LONGITUD EN RECTA  
 Lc = LONGITUD EN CURVA



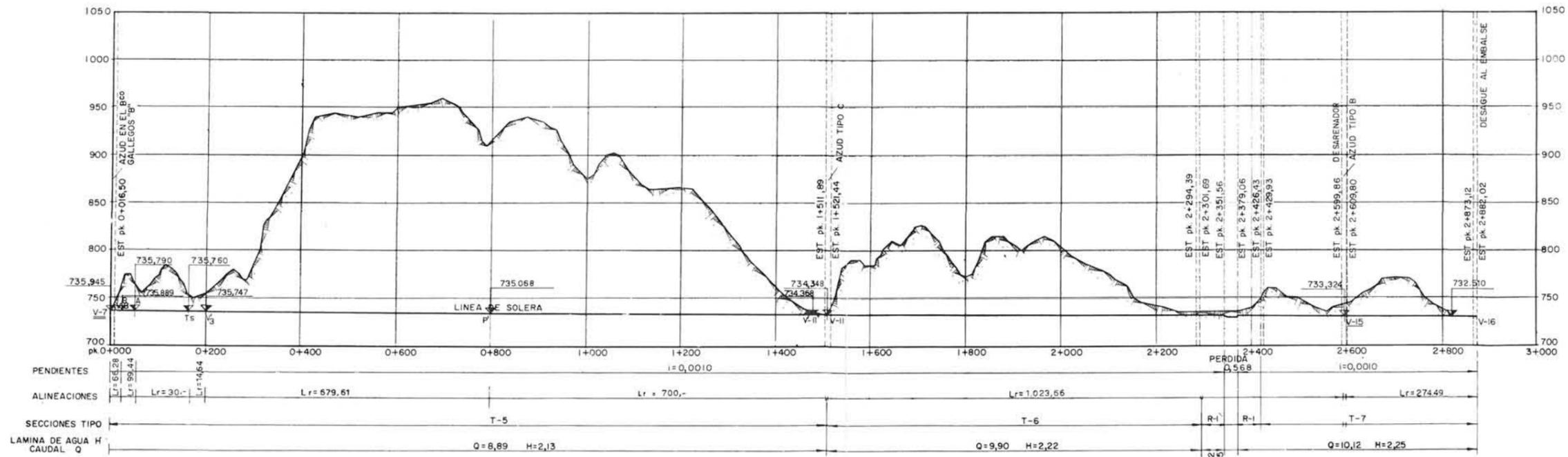
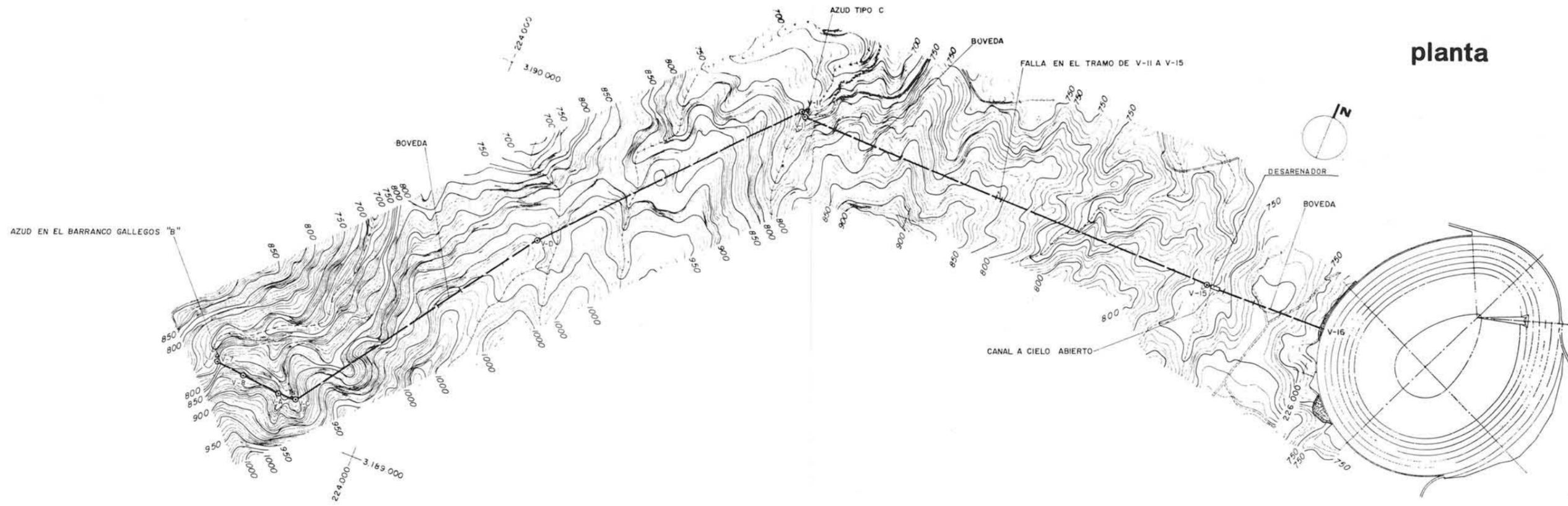
**Perfil longitudinal**  
 ESCALAS H = 1:5000 V = 1:2500  
 ESCALA 1:5.000  
 ESCALA 1:2.500

VERTICE	X	Y	DISTANCIA ENTRE VERTICES d	AZIMUT
V-1	225.520,69	3.186.816,77	1.789,29	
V-3	225.549,45	3.188.605,83		

VERTICE	X	Y	DISTANCIA ENTRE VERTICES d	RUMBO AZIMUT	ANGULO DE ALINEACIONES Δ	RADIO R	TANGENTE T
V-5	225.547,79	3.188.624,69		0			
V-6'	225.619,86	3.188.812,79	199,36	220°50'21"	184°85'22"	112,37	13,37
V-6	225.722,39	3.188.980,02	199,36	238°54'39"			
V-7	226.054,62	3.189.483,89	609,37	236°72'54"			
V-9	226.103,52	3.189.529,19	320,75	197°63'16"			1,90
V-10	226.091,59	3.189.859,72					



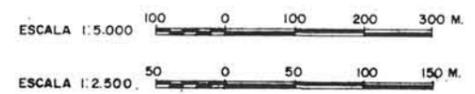
# planta



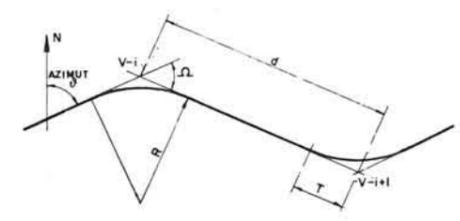
**LEYENDA**  
 Lr=LONGITUD EN RECTA  
 Lc=LONGITUD EN CURVA

### Perfil longitudinal

ESCALAS H=1:5.000  
 V=1:2.500



VERTICE	X	Y	DISTANCIA ENTRE VERTICES d	RUMBO AZIMUT	ANGULO DE ALINEACIONES Ω	RADIO R	TANGENTE T
V-7	223.617,402	3.189.085,893	66,276	303° 13' 27"			
V-B	223.683,598	3.189.082,434	99,44	306° 10' 59"			
V-A	223.782,581	3.189.072,911	30,00	295° 32' 73"	10° 77' 86"	59,00	5,005
V-Ts	223.812,50	3.189.075,11	14,64	306° 28' 27"		25,00	14,64
V-C	223.827,07	3.189.073,68	679,61	230° 76' 70"	67° 44' 57"	75,00	5,21
V-D	224.215,99	3.188.631,01	700,00	247° 61' 70"	8° 83' 00"		
V-II'	224.592,09	3.190.144,16	1.023,66	301° 43' 15"			
V-II	224.702,100	3.190.134,140	274,48	299° 26' 73"			
V-15	225.725,592	3.190.111,124					
V-16	225.999,981	3.190.114,293					



20 cm. Esta rejilla se dispone con una pendiente del 20 % inclinada hacia abajo, con objeto de que encima de ella no quede retenido ningún bolo. En el paramento de aguas abajo se dispone un aliviadero frontal para evacuar los excesos sobre el caudal de cálculo previsto; la acción de este aliviadero queda completada con otro aliviadero lateral en el canal colector, que se dispone inmediatamente aguas abajo del azud.

La entrada de las aguas al canal colector se efectúa a través de un estrechamiento en el cual se ha dispuesto una compuerta de cierre total, a la cual se accede a través de una cámara diseñada de tal forma que no quede sumergida ni siquiera en avenidas extraordinarias.

Los azudes tipo C, para cumplir su función de captación, disponen en el paramento de aguas arriba de un orificio circular cerrado con un mallazo de redondos. En el azud tipo C, que tiene también una función de accesibilidad a los túneles, se dispone en el paramento de aguas abajo una entrada de hombre con escalera de patas. Estos azudes tipo C se intercalan en el trazado de los canales colectores cuando la distancia entre las bocas accesibles directamente en los túneles es excesiva. Los tipos C se utilizan también en barrancos cuya aportación anual es pequeña, con lo cual los acarrees en ellos no son importantes y no requieren, por lo tanto, obras tan costosas como las de los barrancos del Agua y similares.

Se ha diseñado también el azud tipo B, que, en esencia, consiste simplemente en macizar la sección del túnel dándole un perfil hidráulico para atravesar sin captar determinados barrancos que se presentan a lo largo del trazado, bien porque ya han sido captados mediante azudes tipo A, bien porque su aportación anual es prácticamente despreciable y, al mismo tiempo, presentan el inconveniente de que, debido a la gran cantidad de aportes sólidos finos de sus caudales, crearían problemas en los desarenadores respectivos.

### 1.7. Desarenadores

Los desarenadores de los dos canales colectores son del mismo tipo. Constan de una cámara central de planta rectangular, en la cual entra el agua después de un ensanchamiento en el canal. Cada desarenador dispone de un aliviadero capaz de evacuar la tota-

lidad del caudal de cálculo del canal colector, de una compuerta de limpia, y de una tubería de purga. Ambos desarenadores están situados en las cercanías del embalse y ambos tienen fácil acceso: el desarenador del canal Sur mediante un camino de servicio construido expresamente para ello, y el desarenador del canal colector Oeste a través de la carretera de acceso al embalse. Asimismo, estas obras se han efectuado de forma que los caudales del aliviadero se puedan verter directamente a barrancos adecuados.

## 2. EMBALSE Y OBRAS ANEXAS

### 2.1. Características del embalse

La conformación topográfica de la Laguna de Barlovento y sus condiciones geológicas determinan la construcción de un macrodepósito de planta ovoidal, totalmente impermeabilizado. Por lo tanto, la idea conceptual de esta obra no es la convencional de presa y embalse, sino más bien la de un depósito de grandes dimensiones. En efecto, el vaso se encaja totalmente en la depresión de la Laguna, manteniendo como elementos resistentes de contorno las paredes de dicha depresión, ampliadas, en la zona del collado sito al oeste de la obra, por un dique de cerramiento de 12 m de altura.

Así, pues, y aun cuando la capacidad del vaso supera con mucho al millón de metros cúbicos, las características peculiares de la obra, y sobre todo las dimensiones del dique, determinan la posibilidad de exención o modificación de algunas prescripciones de la Instrucción de Grandes Presas, según se indica en su artículo 3.º: ámbito de aplicación.

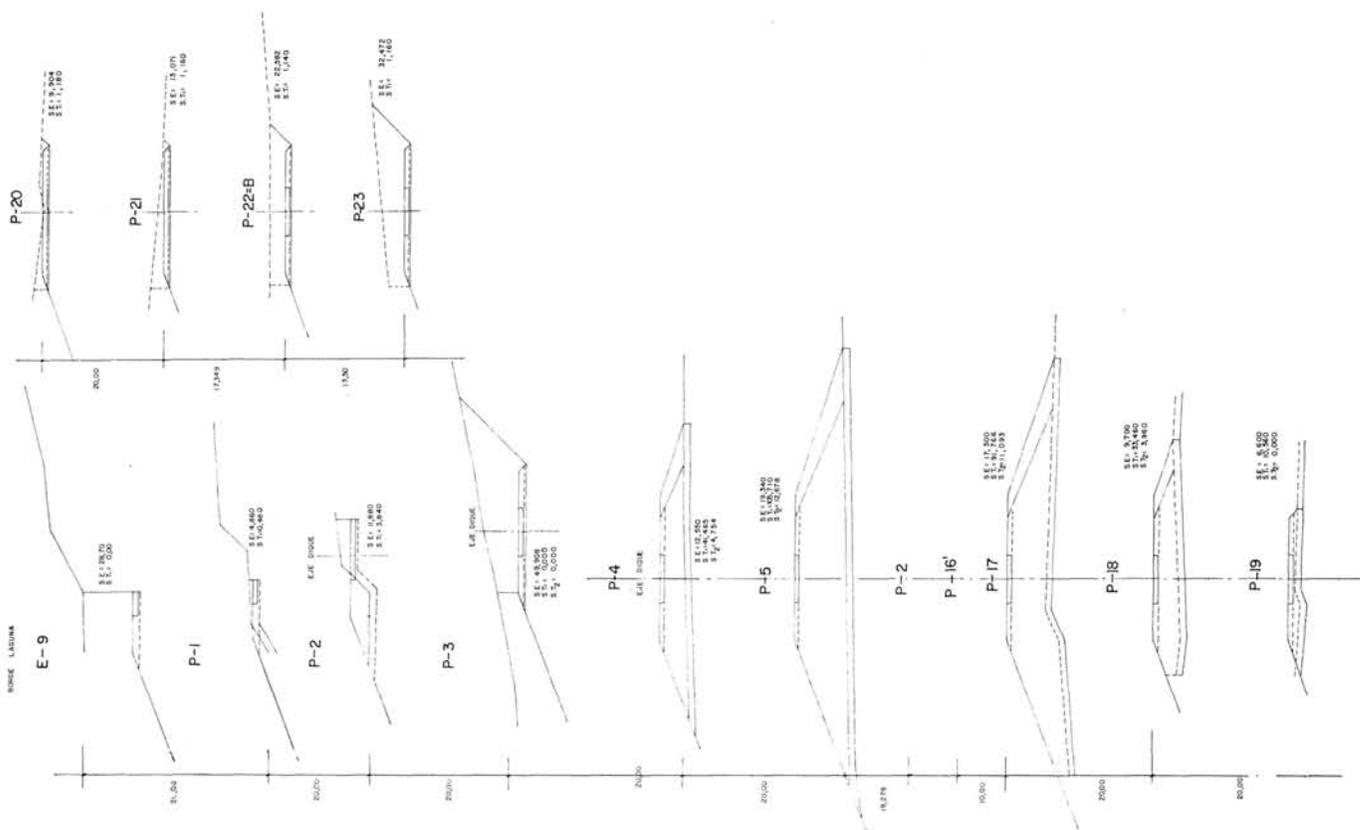
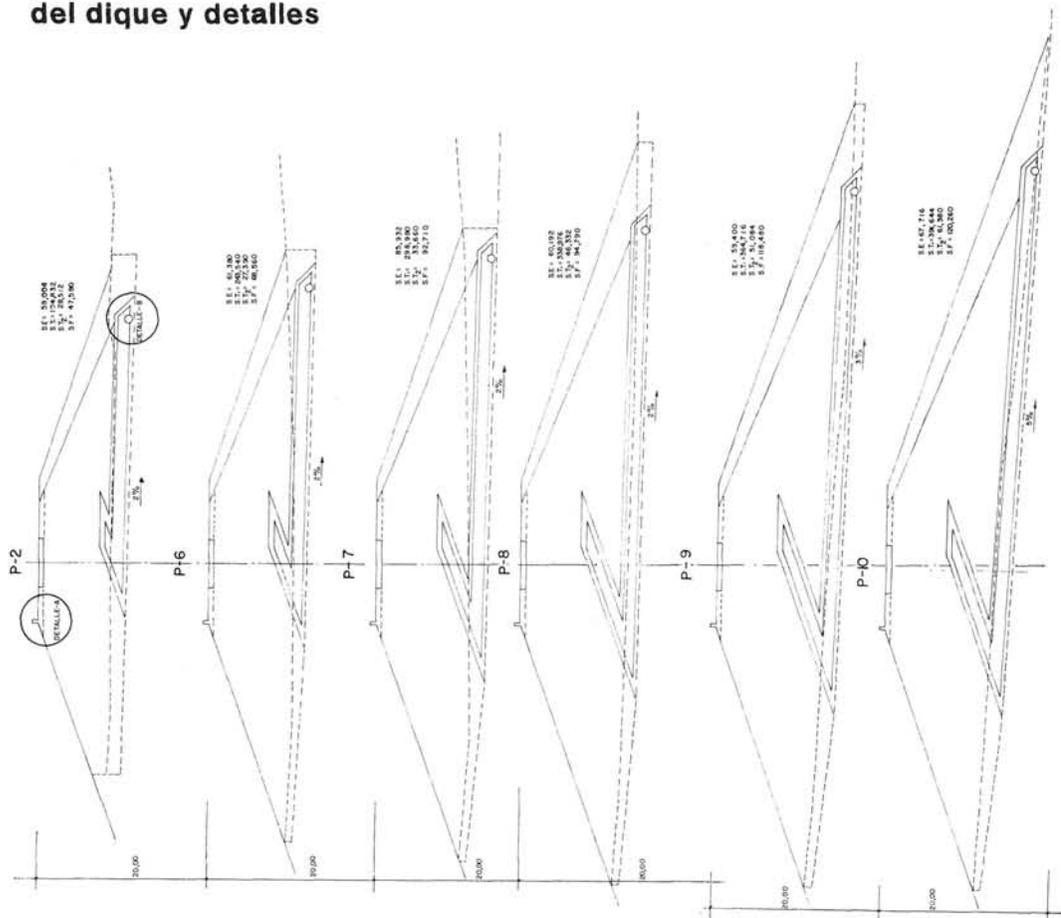
La característica determinante de este depósito viene incluida más por la extensión y capacidad del vaso que por el dique de cerramiento.

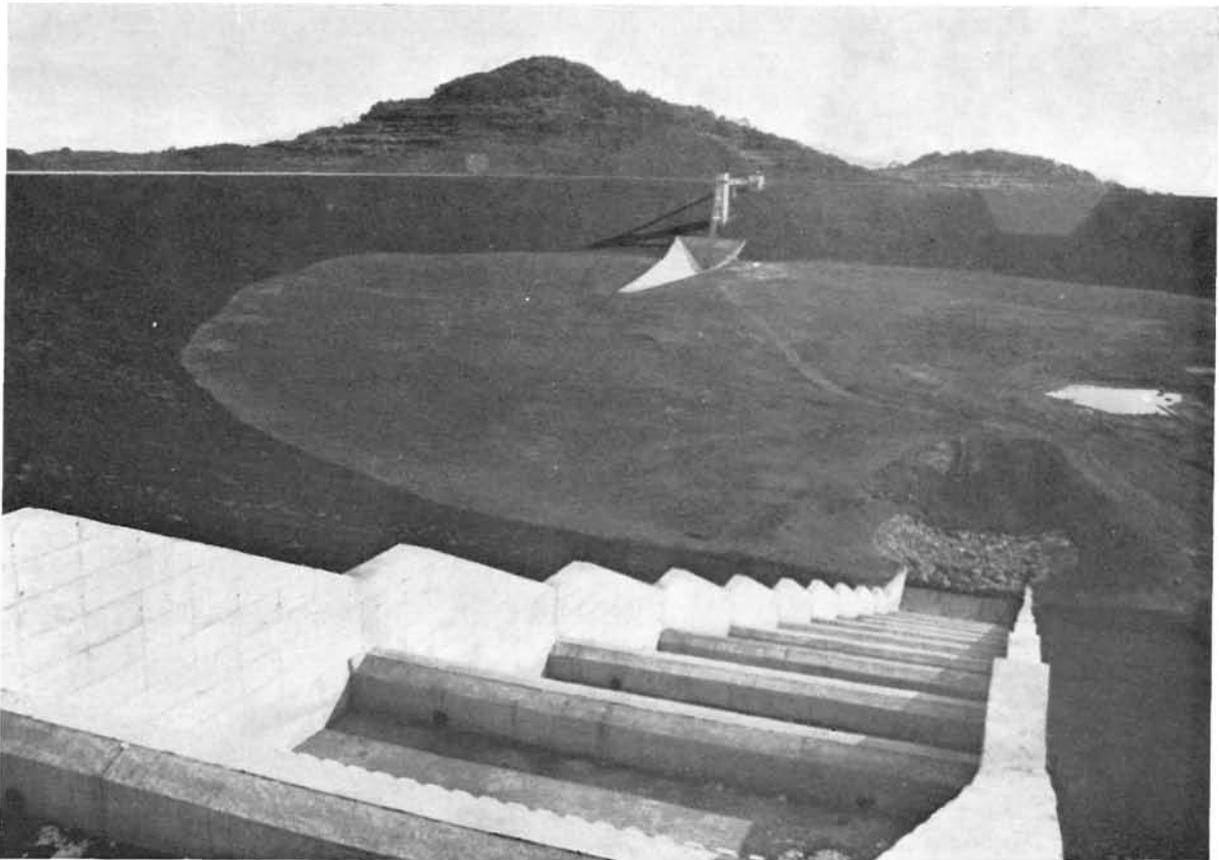
La configuración geométrica del depósito está constituida por una superficie reglada, engendrada por una directriz quebrada que se apoya en dos óvalos concéntricos, situados a cota 732 y 695, respectivamente.

El óvalo de cota superior es de 615 m de largo por 510 m de ancho, mientras que el inferior es de 249 por 144 m.

La generatriz es la línea quebrada formada por dos segmentos de pendiente distinta: 1 a 2,75

# perfiles transversales del dique y detalles





entre las cotas 732 y 700 y 1 a 19 entre la cota 700 y la 695.

La superficie del óvalo inferior es horizontal. La elección de la figura ovoidal para el depósito se ha debido a que es la forma que más se ajusta a la actual topografía de la Laguna, con lo cual el movimiento de tierras es mínimo.

La cota de máximo embalse normal es la 730, con lo cual la capacidad del embalse es 5.450.405,742 m<sup>3</sup>.

## 2.2. Dique de cerramiento

Entre los rellenos necesarios para la obtención de la forma adoptada para el depósito se incluye un dique que cerrará el collado existente al este del vaso.

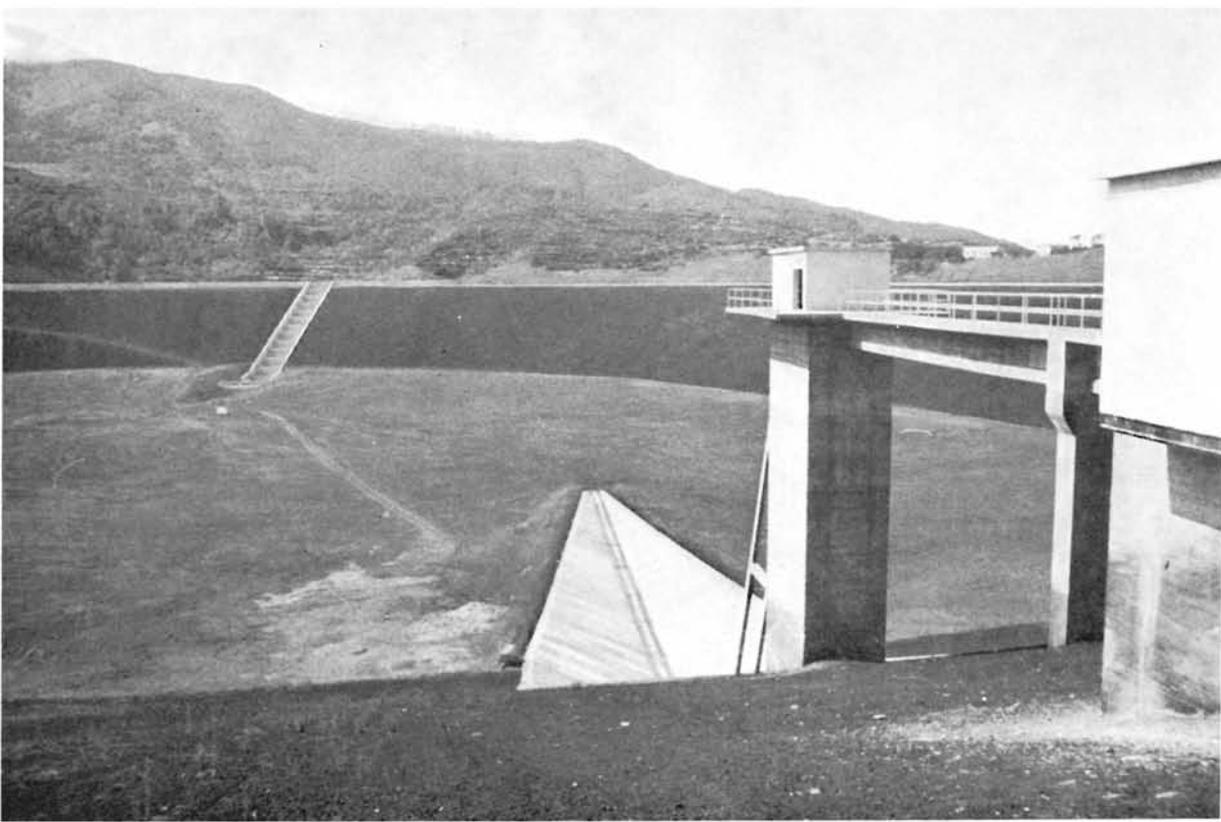
Para la ejecución de este dique se elegirán las arcillas de las excavaciones del vaso, y se colocarán compactadas conformando la siguiente sección tipo:

- Sección trapezoidal de 10 m de coronación y taludes 2,75 : 1 en el paramento aguas

arriba, como prolongación de la superficie del depósito, 22,50 : 1 en el paramento de aguas abajo.

- En el cuerpo del dique se sitúa un filtro de tres capas, de inclinación paralela al paramento aguas arriba, que se prolonga apoyándose en el terreno hasta alcanzar el pie del paramento aguas abajo. Con este filtro se recogería cualquier posible filtración, en el interior del dique, en caso de accidente en la pantalla impermeable.
- En la coronación se dispone un camino de 4 m de firme, con base de macadam y doble tratamiento superficial, sobre una sub-base seleccionada de 0,20 de espesor. Un murete de mampostería actúa de pretil en el arcén situado hacia el embalse.
- Por último, la tierra vegetal excavada en el vaso y vertida al pie del paramento aguas abajo del dique, se aprovecha para cubrir dicho paramento con un espaldón de tierra vegetal, apta para plantaciones, que defiende el paramento frente a los agentes atmosféricos.

La salida del filtro, que queda cubierto por la tierra vegetal, se realiza por un dren colector que desagua al barranco más próximo.

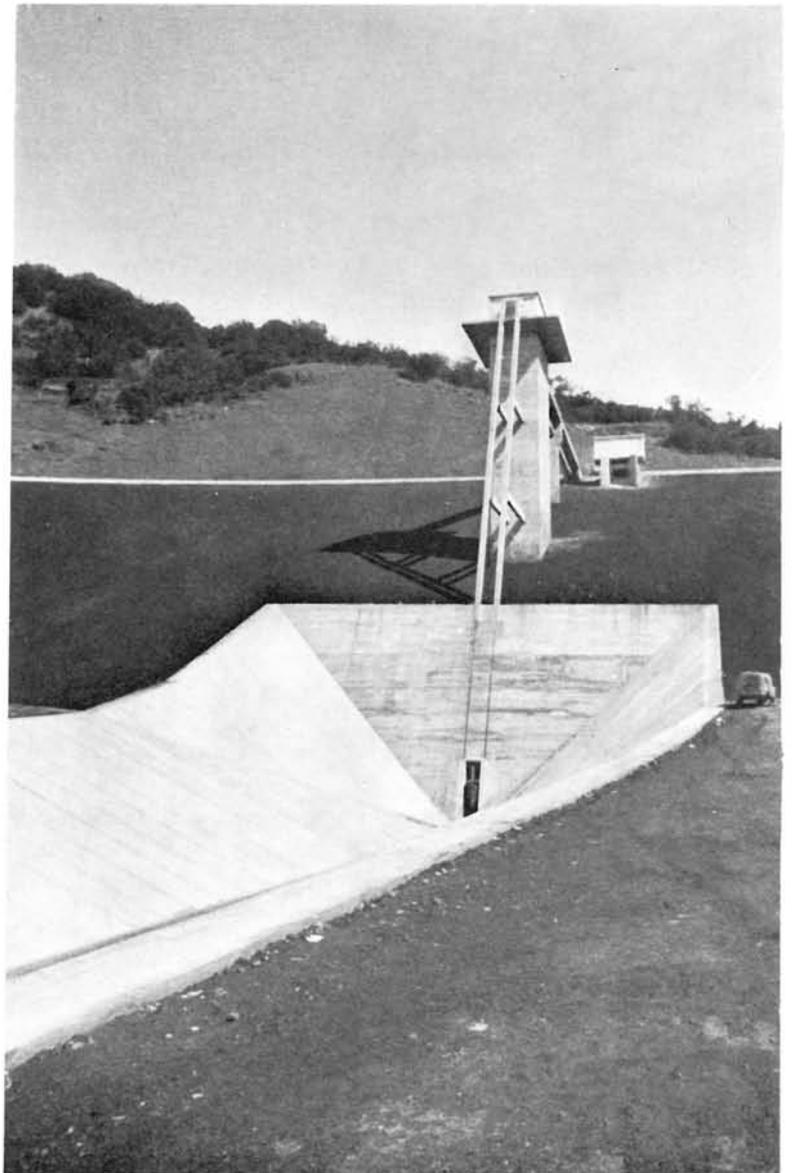


### 2.3. Pantalla de impermeabilización

La impermeabilización de aglomerado asfáltico, prevista en el proyecto primitivo para los taludes y fondo del embalse, ha resultado no ser idónea para el terreno del embalse, según estudios realizados por la Dirección General de Obras Hidráulicas, pues los fuertes asentamientos previsibles en el fondo del vaso, compuesto de limos halloysíticos, serían imposibles de absorber sin rotura por un material de las características del aglomerado asfáltico. Por ello se ha previsto una impermeabilización de taludes y fondo del embalse con una capa de tierras seleccionadas compactadas de 0,75 m de espesor total.

Para proteger los taludes de los efectos de la erosión del agua de lluvia y del oleaje se ha previsto efectuar un tratamiento de su superficie incrustando por compactación una capa de gravilla en el terreno compactado y humedecido; sobre esta gravilla se efectuará posteriormente un riego de imprimación, y sobre éste un tratamiento asfáltico simple.

De esta manera se podrá observar el comportamiento del vaso al entrar en carga y reducir los asentamientos del fondo antes de su impermeabilización total.



## 2.4. Resguardo

La coronación, tanto de la superficie regularizada del vaso como la del dique, se encuentra a la cota 732, mientras que el máximo nivel de embalse normal se fija a la 730, con lo cual el resguardo resulta de 2 m. Este valor es suficiente tanto para la posible sobre-elevación en avenidas, como para el oleaje, a la vez que cumple con la Instrucción para el caso de diques de tierra.

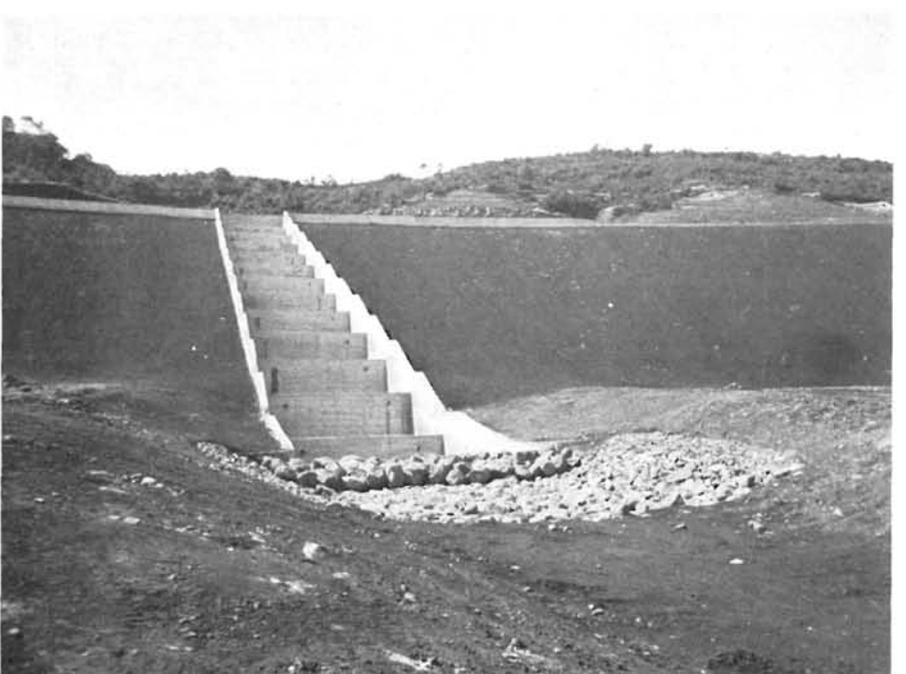


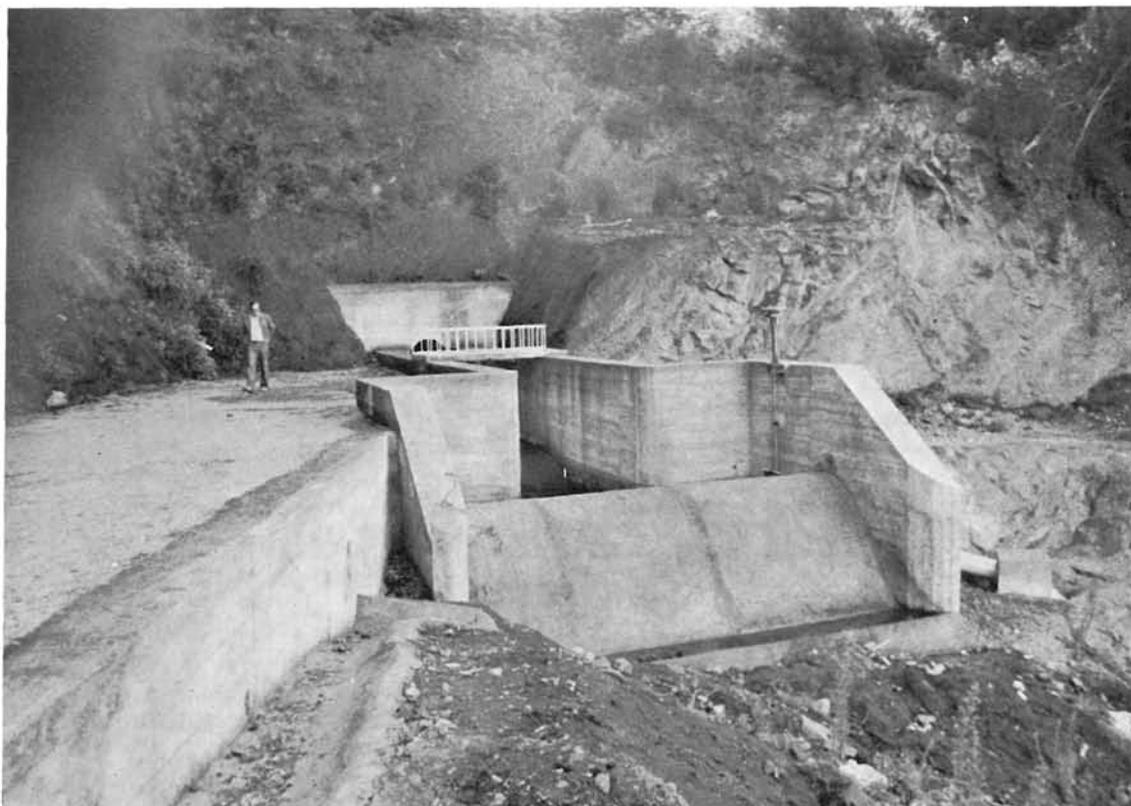
## 2.5. Desagüe de fondo y toma

Como se ha expuesto en el apartado 2.1, el acondicionamiento primordial radica en su capacidad. Ante esto, los órganos de evacuación deberán estar dispuestos para el vaciado del vaso en un tiempo prudencial, siempre considerando la influencia del caudal evacuado aguas abajo de la obra.

Otra característica determinante para el proyecto de los órganos de desagüe es la amplia extensión del vaso, del orden de 22 ha, y la posibilidad de entrada y sedimentación en el fondo de ramas, tierras y demás elementos que producirán una reducción del volumen del embalse y un posible atarquinamiento de los antedichos órganos, ya de desagüe, ya de toma. Ante esto, resulta fundamental la previsión de elementos de limpia eficaces y de fácil funcionamiento.

Aun cuando el llenado del depósito se realiza principalmente por medio de trasvases, dispuestos con sus correspondientes desarenadores, no hay duda que la ubicación de un depósito encajado en una depresión natural con tal superficie mantiene la eventualidad de aterramiento





por derrubios de los terrenos altos que lo rodean. Ante estas ideas, las obras de toma y desagüe se han planteado con las siguientes características:

- El desagüe enlazará el fondo del depósito con el barranco más próximo, con posibilidad de evacuación. En obras de materiales sueltos se debe evitar, en lo posible, su disposición cruzando el cuerpo del dique (Instrucción, artículo 57). Según esto, la obra más corta se sitúa en la unión del vértice nordeste del óvalo de base con el barranco situado tras el pico denominado Laguna de Barlovento. El enlace se realizaría por una galería que atraviesa dicho pico, y avanza por el depósito (al encontrar poco recubrimiento) a través de un canal a cielo abierto. Así, la obra consta de un canal de 105 m y una galería de 270 m de longitud.

La galería, para facilidad de construcción, tiene sección ovoidal, apoyándose en la zona más ancha, de 2,55 m de anchura y 2,85 m de altura, con una pendiente del 0,7 %. Según la sección longitudinal del Informe Geológico, esta galería estaría excavada en basaltos.

La embocadura de la galería, que enlaza con el canal del depósito, se ha dispuesto con forma hidráulica y una altura de 4,50 m, de forma que pueda absorber posibles aterramientos. Esta embocadura se cubre con una rejilla que debe poder ser limpiada con facilidad.

La posibilidad de desagüe que permite la galería no puede ser desaprovechada, ni para caso de desembalse rápido, ni para la evacuación de sedimentos. Ante esto, se ha desechado la posibilidad de alojar tuberías de desagüe en esta galería, con sus válvulas correspondientes, y se ha elegido la descarga en lámina libre por dicho túnel.

Siendo así, la compuerta aconsejable es la de sector que se ha dispuesto a 25 m de la embocadura. Ante esta compuerta se dispone otra deslizante, cuya función es la de ataguía, para caso de conservación o reparación de la de sector.

Al adoptar la galería con posibilidad de desagüe a sección llena, para casos de urgencia, el acceso a las compuertas se ha de realizar por una torre que presenta las siguientes ventajas:

- a) Acceso fácil y directo a las compuertas.

- b) Accionamiento de estas compuertas desde el exterior del embalse.
- c) Posibilidad de disponer unas guías que acceden a la rejilla, y por las cuales puede deslizarse el rastrillo de limpieza, accionado desde la caseta de la torre.

A la caseta de la torre se llega por una pasarela de hormigón armado, constituida por dos tramos de 21,45 m de luz libre, que enlaza con el camino de coronación del dique de cerramiento. La torre de acceso a la toma y desagüe se asienta sobre el macizo rocoso del pico Laguna de Barlovento, al igual que el pozo en que se prolonga hasta alcanzar la cámara de compuertas.

El funcionamiento normal del desagüe de fondo se ha previsto para un caudal a evacuar de 6 m<sup>3</sup>/s, para lo cual se dispone un revestimiento en la galería de 30 cm de espesor y 1,20 m de altura.

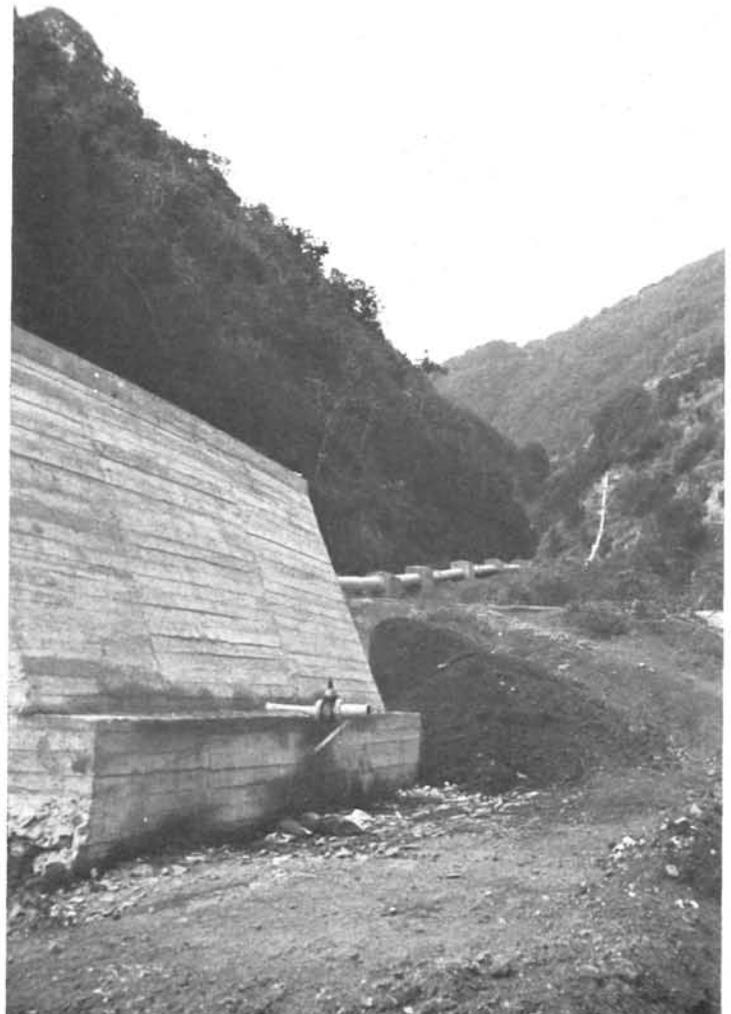
No hay duda que en caso de necesidad perentoria se podría descargar hasta sección llena, en cuyo caso evacuaría 13,9 m<sup>3</sup>/s. Aún en este caso extremo, el caudal sería absorbido por el barranco al que se desagua, sin peligro para obras importantes situadas aguas abajo.

El caudal máximo previsto en funcionamiento normal, de 6 m<sup>3</sup>/s, producirá el vaciado del depósito en unos 12 días, tiempo considerado como prudencial, mientras que desaguando a sección llena, se podría rebajar la lámina de agua hasta la cota 720 (cimentación del dique de cerramiento) en 2 días, quedando el dique a media carga en un solo día:

— Una vez encajado el desagüe de fondo en la antedicha galería, funcionando a lámina libre, se presenta dicha galería como idónea para cualquier otra obra de evacuación; por ejemplo, la toma. Naturalmente, los elementos de control de esta obra, dispuestos en la galería, con la actual sección resultarían prohibitivos, pero, sin embargo, disponiendo un «by-pass» en la cámara de compuertas, se puede lograr la desviación del caudal de toma con una tubería y válvulas de sección y dimensiones estrictas. Así se ha dispuesto una conducción de 450 mm, que deriva 3,50 m antes de la ataguía del desagüe y descarga 3,50 m después de la de sector. Dicha conducción tiene dos válvulas, una compuerta con función de ataguía y una mariposa para la regulación de la toma, con su correspondien-

te caseta de mandos. Esta conducción está calculada para tomar los 600 l/s exigidos, aún con cotas de agua mínimas, ya que se encuentra 2 m bajo el fondo del depósito. A la salida de la galería se ha dispuesto una arqueta con aliviadero, de la que parte la conducción de toma hasta enlazar con el canal Barlovento-Fuencaliente. La arqueta se encuentra a cota 690, mientras que el enlace con el canal es la cota 508, con lo cual la conducción deberá funcionar con cargas de hasta 182 m, lo que implica su condición metálica. El diámetro de la conducción es de 300 mm.

El aliviadero previsto en la arqueta, que descarga en el barranco, tiene capacidad para la evacuación del caudal máximo de desagüe de la galería, sin influir en los 600 l/s de toma por la conducción.





## 2.6. Aliviadero

Como último órgano de evacuación se ha previsto un aliviadero de superficie que también descarga en la galería del desagüe. Está situado en el mismo macizo rocoso en que se ubican las demás obras de evacuación.

Ya se ha expuesto en apartados anteriores que el llenado fundamental de este depósito procede de los trasvases, ya que su propia cuenca vertiente es mínima. Dado que los canales colectores de los trasvases están perfectamente regulados, con aliviaderos y compuertas, el llenado normal del depósito no presenta posibilidades de descargas extraordinarias en avenidas.

Por parte de su cuenca vertiente, que sumada a la extensión propia del embalse da una superficie de 46 ha, la máxima avenida del cálculo resulta de 3,6 m<sup>3</sup>/h, caudal pequeño y con posibilidades de reducción por la propia laminación del depósito.

Según estos datos, podría pensarse en no disponer ningún órgano de evacuación superficial. Ahora bien, no hay duda que la seguridad

de la obra aconseja su disposición por las razones siguientes:

- Resulta expuesto, y más en una obra de materiales sueltos, desestimar la posibilidad de evacuación superficial, basándose en la propia absorción de la avenida, estimada en datos hidrológicos tan insuficientes como los existentes en las Islas Canarias.
- La seguridad de la obra resulta considerablemente reforzada al disponer de un aliviadero superficial que permita descargar un volumen considerable del embalse, situado en cotas superiores, en auxilio de la descarga normal del desagüe de fondo.
- Y, por último, la obligatoriedad de este dispositivo prescrita por la Instrucción es difícil evitarla, aún para el caso particular de macrodepósito que se proyecta.

Ahora bien, su dimensionamiento ha de ajustarse a criterios más amplios que el convencional de evacuación de avenidas de cálculo, dado que su papel esencial es el de órgano de desagüe superficial.

Como desagüe superficial, su embocadura se dispone en el macizo donde se ubican los demás ya descritos, y desagua, por un túnel circular de pendiente 1/1, a la galería de descarga del desagüe de fondo y toma. Dado que esta galería, en funcionamiento normal, es capaz de evacuar 6 m<sup>3</sup>/s, por su zona revestida, éste es el caudal adoptado para dimensionamiento del aliviadero.

Esta capacidad es suficiente para evacuación de posibles avenidas, así como para cumplir su papel de desagüe superficial.

Las dimensiones de la obra de embocadura quedan considerablemente reducidas con la adopción de una clapeta basculante automática, de 2,50 de ancho y 1,35 de alto, con la ventaja de mantener el máximo nivel de embalse fijo, con sólo 10 cm de lámina vertiente para que accione automáticamente dicha clapeta.

El túnel de descarga, con pendiente 1 : 1, tiene una sección circular de 1,50 m de diámetro, y enlaza con la galería de desagüe mediante una curva de 15,75 m de radio.

## 2.7. Caminos de acceso

Para acceso al embalse o a algunas obras anexas se han previsto los siguientes caminos:

- Camino de acceso al embalse. Enlaza la carretera nueva de Barlovento a Garafia con la coronación del depósito. Tiene 736,30 m de longitud y una sección de 4 m de calzada y dos arcenes de 0,50 m. Es de macadam de 0,20 m de espesor, con doble tratamiento superficial, sobre una capa de sub-base de 0,20 m de espesor.
- Camino de acceso a la cámara de carga de la toma. Enlaza la coronación del dique con la salida de la galería de desagüe. Tiene 694,90 m de longitud y una sección de 4 m de calzada y dos arcenes de 0,50 m. Es de macadam de 0,20 m de espesor, sobre una sub-base de 0,20 m de espesor.
- Camino de acceso al desarenador del canal colector Sur. Enlaza la coronación del dique con el desarenador antedicho, con una longitud de 555,60 m. Su sección tipo es igual a la del camino anterior.

## résumé

### Retenue de la lagune de Barlovento La Palma - Canaries - Espagne

Projet primitif: Carlos Forteza Steegmann, Dr. Ing. C.C.P.

Projet réformé: Ricardo Sánchez García, Dr. Ing. C.C.P.

On décrit, dans cet article, les diverses études et les travaux nécessaires pour aménager la dépression naturelle existante et l'utiliser comme retenue, bien que l'idée conceptuelle soit plutôt celle d'un réservoir de grandes dimensions; les analyses des ravins, la construction des conduites de transvasement nécessaires à leur remplissage, de canaux, tunnels, conduites et barrages; la solution la plus appropriée aux problèmes de vidange, etc.

La surface totale de bassins transvasement est de 2.562 ha, la configuration géométrique du réservoir étant constituée par une surface réglée engendrée par une directrice brisée qui s'appuie sur deux ovales concentriques aux cotes 732 et 695; le supérieur ayant 615 sur 510 m et l'inférieur 249 sur 144 m. La cote maximale de retenue est de 730 (avec 2 m de protection pour absorber sur des élévations, en crues, et houles, et en application de l'Instruction pour digues de terre), ce qui fait que sa capacité soit d'environ 5.450.406 m<sup>3</sup>.

## summary

### Dam at «La Laguna de Barlovento». Las Palmas - Canary Islands - Spain

Original project:

Carlos Forteza Steegmann, Dr. Eng. C.C.P.

Final project:

Ricardo Sánchez García, Dr. Eng. C.C.P.

This article describes various studies and the works that have been necessary to transform the natural existing basin into a dam, although the actual idea is rather that of a big water reservoir; analysis of the gorge, construction of the water-pipes, canals and weirs; the most suitable solution of the casting problem, etc.

The dam volume has a geometric shape enclosed by two concentric oval lines, one at 732 m height, and the lower at 695 m. The axes of the two ovals are 615 × 570 m and 249 × 144 m, respectively. The maximum height of the water is 730 m (with a 2 m margin to allow for waves and water rushes and to meet the specifications for inland dikes). Hence, its capacity is approximately 4,450,406 m<sup>3</sup>.

## zusammenfassung

### Der Damm von «La Laguna de Barlovento» - Las Palmas - Kanarische Inseln - Spanien

Ursprünglicher Entwurf:

Carlos Forteza Steegmann, Dr. Ing. C.C.P.

Endgültiger Entwurf:

Ricardo Sánchez García, Dr. Ing. C.C.P.

Der Artikel beschreibt die verschiedenen Studien und die Arbeiten, die erforderlich waren, um das bereits existierende natürliche Becken in einen Damm zu verwandeln. Die ursprüngliche Idee war jedoch die eines grossen Speichers; Analyse der Schlucht, Bau der Wasserleitungen, Kanäle, Rohrlagen und Wehre; die beste Lösung der Giessprobleme.

Die Gesamtfläche des Beckens ist 2.562 ha. Des Volumen des Damms ist geometrisch geformt und wird zwei konzentrischen ovalen Linien umschlossen, eine auf 732 m Höhe und die andere auf 695 m. Die Achsen dieser zwei Ovalen sind je 615 × 510 m und 249 × 144 m. Die maximale Höhe des Wasserspiegels ist 730 m (mit einem Sicherheitsraum von 2 m, als Schutz vor Überschwemmungen und Wellenschlägen, und ausserdem um den Anforderungen der Verordnungen zu entsprechen), wobei die Kapazität des Damms etwa 5.450.406 m<sup>3</sup> ist.