

# MODIFICACIONES DURANTE LA CONSTRUCCION DE LAS OBRAS DE CIMENTACION DE UNA PRESA

Dr. Ing. C. C. P. L. MAROTO

## RELACION PROYECTO-CONSTRUCCION

La labor del proyectista de una presa no termina al contratar su construcción, sino que debe prolongarse en todas las fases de la misma e incluso a lo largo de su explotación.

Un proyecto es el conjunto de documentos que definen todos y cada uno de los detalles de una obra. Por tanto, un proyecto terminado sirve para contratar una obra y construirla, pero hay casos en que el proyecto no está completo en el momento de contratar y empezar la construcción de una obra aunque se siga llamando proyecto. Interesará mucho aclarar estos conceptos.

En el proyecto de una máquina, de una instalación, es posible definir todos y cada uno de sus detalles antes de su construcción. En cambio, en el proyecto de una excavación no se puede definir, en general, cómo va a quedar el terreno después de ejecutada la excavación. Se podrá definir, eso sí, en líneas generales, pero no en su detalle y será tanto más aproximada la estimación de lo que resultará cuantos mayores sean los conocimientos del terreno en cuestión.

Es por estas razones por las que opinamos que un proyecto de cimentación de una presa o de cualquier otra estructura no quedará completo hasta que no quede realizada, por lo menos, toda la excavación.

Llamaremos proyecto de contrata al que tiene suficiente detalle como para contratar una obra. Entonces el proyecto de contrata de la cimentación de una presa debe tener el máximo detalle posible, pero marcando las directrices que deben seguirse en su ejecución, indicando los objetivos que se pretenden conseguir y dejando al propio proyectista que termine su labor a medida que se completan las excavaciones y que se reconozca exhaustivamente el terreno de cimentación.

El proyectista, por tanto, debe seguir la construcción en su detalle no sólo como garantía de que la ejecución se ajusta a las directrices marcadas, sino utilizando la construcción como *reconocimiento* exhaustivo y definiendo todos los detalles complementarios necesarios.

El director de la obra de cimentación de una presa debe tener cerca de sí al proyectista para que le resuelva todas las dudas que pueda tener en la interpretación del proyecto y en la estimación de las características de la cimentación. La labor de aquél es la de organizador de

la obra para mantenerla dentro de los planes, plazos y costos previstos, y la función del proyectista es de comparar la realidad de la excavación con las estimaciones y estudios hechos previamente y la detección rápida de las variaciones existentes que exijan modificación o complemento al proyecto de construcción realizado. **6**

## METODOLOGIA DE LA CONSTRUCCION

Por sistema, aunque el proyecto de construcción esté realizado y basado en un reconocimiento previo muy amplio, es precisa durante la construcción una labor metódica de toma de datos del terreno estudiando la geometría de las litoclasas y muy principalmente de los accidentes. Es necesario comprobar si la importancia de un accidente varía en profundidad si tiene la forma geométrica prevista en el estudio previo. Es preciso comprobar también si la forma de excavación es la correcta para no dañar en exceso la roca.

Respecto a este último punto es evidente que si a una roca le quitamos, mediante excavación, el peso de la roca que tiene encima, cambiamos su estado de tensión y producimos un efecto de descompresión que abrirá sus diaclasas. Depende mucho de la naturaleza de la roca la intensidad e influencia de esta apertura de diaclasas, pero no debemos olvidar que muchas veces la disposición de los planos de tiro y las voladuras afectan mucho más a la descompresión que la masa pesante que hemos desalojado. Un estudio minucioso de las voladuras puede reducir en forma importante las zonas afectadas por ellas y dejar en su justo valor la importancia y condiciones de litoclasas y accidentes del terreno.

El Archivo Técnico de la Construcción debe recopilar toda la información conseguida con la toma de datos antes citados pensando, sobre todo, en una situación de alerta ante cualquier contingencia futura. La definición de los detalles accesorios durante la construcción no precisaría en general de esta recopilación.

Un ejemplo interesante de cómo realizar esta toma de datos fue la comunicación presentada por don Charles Joulain al Simposio de Madrid de Mecánica de las Rocas de octubre de 1969 en el que, con ayuda de la fotografía, se estudiaba y registraba la geología de detalle en cada uno de los bloques de cimentación de la presa de Atazar.

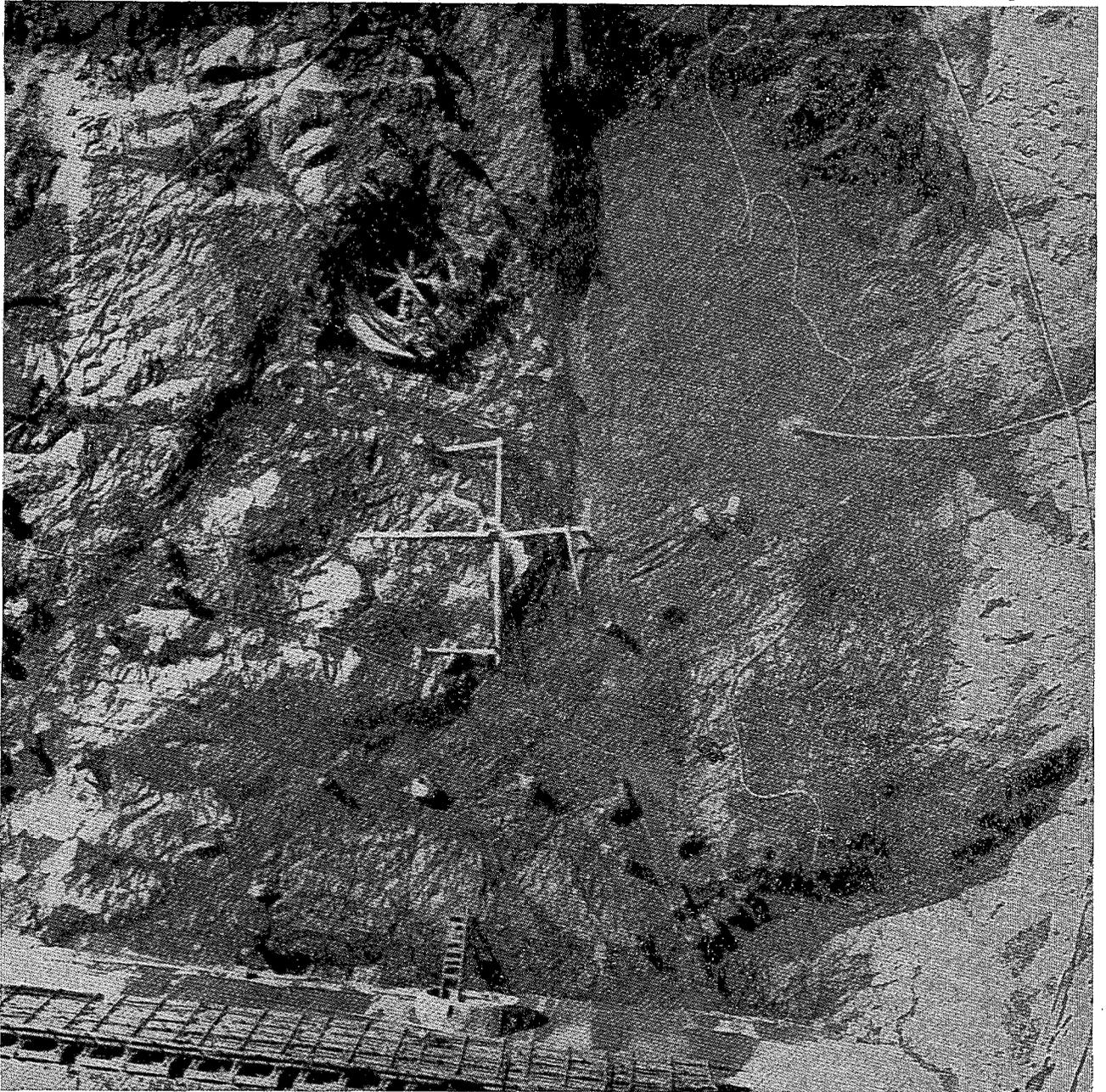


Fig. 1. — Presa de Atazar. Fotografía de la cimentación de un bloque.  
(Atazar Dam: Photography of a block's foundation.)

A partir de fotografías como la que incluimos en la figura 1 a título de muestra, y por confrontación directa sobre el terreno, se obtuvieron los planos geológicos correspondientes al total de la cimentación rellenando sucesivamente cada uno de los bloques tal como se indica en la figura 2 y componiendo con ellos el mosaico del conjunto.

#### PEQUEÑAS MODIFICACIONES QUE NO AFECTAN AL CONJUNTO DE LA OBRA

Durante las excavaciones para la cimentación de una presa pueden aparecer zonas en las que las características de la roca no coinciden con las previsiones del proyecto, aun cuando la diferencia no sea esencial. Las con-

VEA 3<sub>2</sub> - IGUALES CARACTERISTICAS QUE V.3.  
RUMBO MEDIO N. 70° O. ESPESOR 5-10 cm.

LOQUE 0-A) ESPESOR 20 cm.  
N. 50° E. N. 45-50° N.

VEA 3<sub>1</sub> - IGUALES CARACTERISTICAS QUE V.3.  
ESPESOR 5-10 cm. RUMBO N. 45° O.

VEA 3 - DIACLASA MILONITIZADA  
DE RUMBO MEDIO 2° O. ESPESOR  
10 a 30 cm. BUZAMIENTO  
SUBVERTICAL.

VEA 2 - DIACLASA MILONITIZADA  
(FAMILIA D<sub>1</sub>) ESPESOR 10-15 cm.  
RUMBO MEDIO N. 45° E. BUZAMIENTO 50° N.

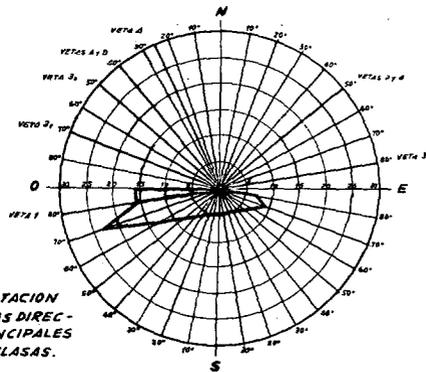
VEA 1 - DIACLASA MILONITIZADA  
(MATERIAL PIZARROSO) ESPESOR 5-10 cm.  
BUZAMIENTO SUBVERTICAL - DIRECCION MEDIA N. 20° O.

VEA 1 - DIACLASA MILONITIZADA  
(MATERIAL PIZARROSO) ESPESOR 5-10 cm.  
BUZAMIENTO SUBVERTICAL - DIRECCION MEDIA N. 20° O.



**LEYENDA**

- 5 FRECUENCIA DE LAS DIACLASAS D<sub>1</sub> Y D<sub>2</sub> EN 1 M<sup>2</sup>
- VEYILLAS DE CUARZO SEGUN DIACLASACION D<sub>1</sub>.
- DIACLASAS D<sub>1</sub> FINAS (MILONITIZADAS).
- DIACLASAS D<sub>1</sub> MEDIAS SIN RELLENO
- DIACLASAS D<sub>1</sub> MILONITIZADAS (ESPESOR SUPERIOR A 10 cm.)
- PLANO DE DIACLASAS D<sub>1</sub>
- PLANO DE DIACLASAS D<sub>2</sub>
- DIACLASA SEGUN LA ESTRATIFICACION
- ESQUISTOSIDAD.
- PIZARRAS BLANDAS CON FOLIACION MUY MARCADA.
- BUZAMIENTO (DE 45° A 55°).
- BUZAMIENTO VERTICAL.



REPRESENTACION EN % DE LAS DIRECCIONES PRINCIPALES DE LAS DIACLASAS.

Fig. 2. — Presa de Atazar. Plano geológico de la cimentación de un bloque.

(Atazar Dam. Geological view of a block foundation.)

VETA 4 - DIACLASA D<sub>1</sub> CON RELLENO MILONITIZADO  
ESPESOR 26-30 cm. - RUMBO MEDIO N. 45° E  
BUZAMIENTO 60° N.

RELENO DE PIEDRA GRANITOSA NEGRA  
ESPESOR 40 a 35 cm. - RUMBO MEDIO N. 25° O.  
q = SUBVERTICAL.

VETA 5 - BLOQUE 0-10. ESPESOR 10-15 cm.  
RUMBO N. 45° E. - q = 43-46° N.

VETA DE ARCILLA - ESPESOR < 3 cm.  
SEGUN D<sub>1</sub>. RUMBO E-O q = 45° N.

VETA 2<sub>1</sub> - DIACLASA MILONITIZADA  
ESPESOR 5-10 cm. BUZAMIENTO  
SUBVERTICAL. RUMBO MEDIO N. 55° E.

VETA 6 - (VER  
RUMBO N. 60°

VETAS DE ARCILLA - ESPESOR INFERIOR  
A 5 cm. - CONCORDANTE CON  
LA ESTRATIFICACION.

VETA DE ARCILLA - ESPESOR < 5 cm.  
SEGUN D<sub>1</sub>. RUMBO E-O. q = 80° N.

PAQUETES DE CUARZO ALTICAD.  
SEGUN D<sub>1</sub> O D<sub>2</sub>.

VETAS DE ARCILLA - ESPESOR < 5 cm.  
CONCORDANTE CON LA ESTRATIFICACION.

VETA 4 - DIACLASA N.  
ESPESOR: 50-70 cm.  
BUZAMIENTO SUBVERTICAL  
MEDIO N. 33° O. q = 25°



secuencias de esta falta de coincidencia pueden afectar sólo parcialmente a la estructura de una presa y exigen, por tanto, un acoplamiento del proyecto que por supuesto no puede ni debe considerarse como reforma de proyecto. Corresponde al proyectista el delimitar hasta qué punto afectan las modificaciones y cuáles son las condiciones que se exigen en el cimientó.

Naturalmente es dicho autor quien mejor puede encontrar la solución al problema que se plantea, aunque no consideramos que sea un problema exclusivamente suyo, sino más bien del conjunto de Ingenieros que intervienen en la construcción de la presa en cuestión. Lo que sí consideramos imprescindible es el asesoramiento y aprobación de la solución elegida entre todos por el autor del proyecto que, en definitiva, será el responsable del comportamiento del conjunto de la estructura. Al indicar lo

que antecede queremos aclarar que en nuestra opinión, al ser precisa una modificación de la obra a realizar, son afectados otros factores que influyen de forma importante, tales como el costo y el plazo de las obras, pero que en definitiva es la calidad y comportamiento del conjunto quien tiene una importancia preponderante sobre los demás.

Dè la misma forma que los problemas se pueden plantear por muchas causas también los elementos con que cuenta el Ingeniero para su resolución son múltiples y variados. Estas causas de modificación pueden ser por mayor importancia de fallas o diaclasas, por la aparición de otras nuevas, por efecto de decompresión o meteorización, ya sea por su estado natural o como efecto de la propia excavación, etc. La restitución de las condiciones previstas en el proyecto puede hacerse mediante trata-

6

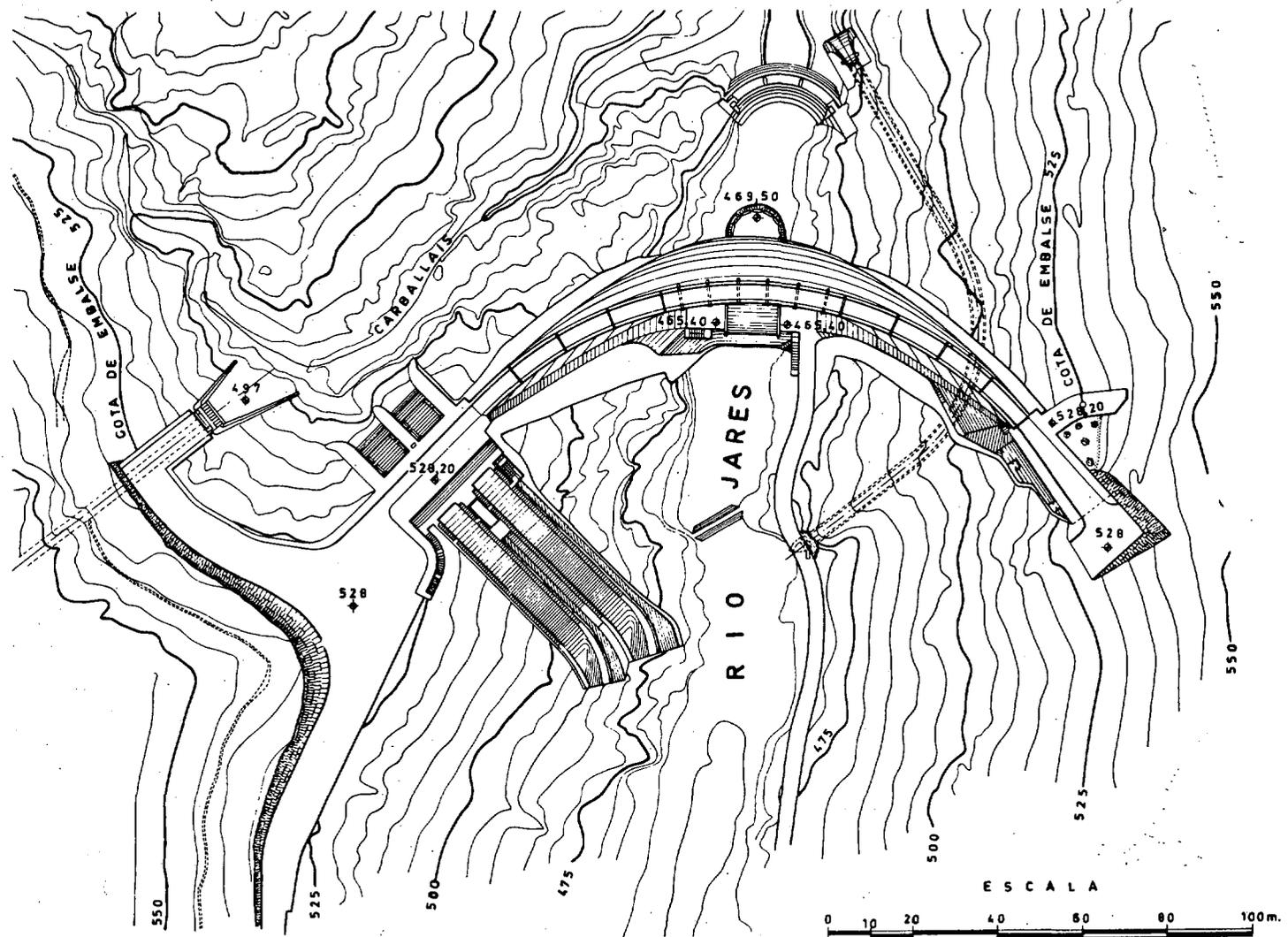


Fig. 3. — Presa de Santa Eulalia. Planta.  
(Santa Eulalia. General layout.)

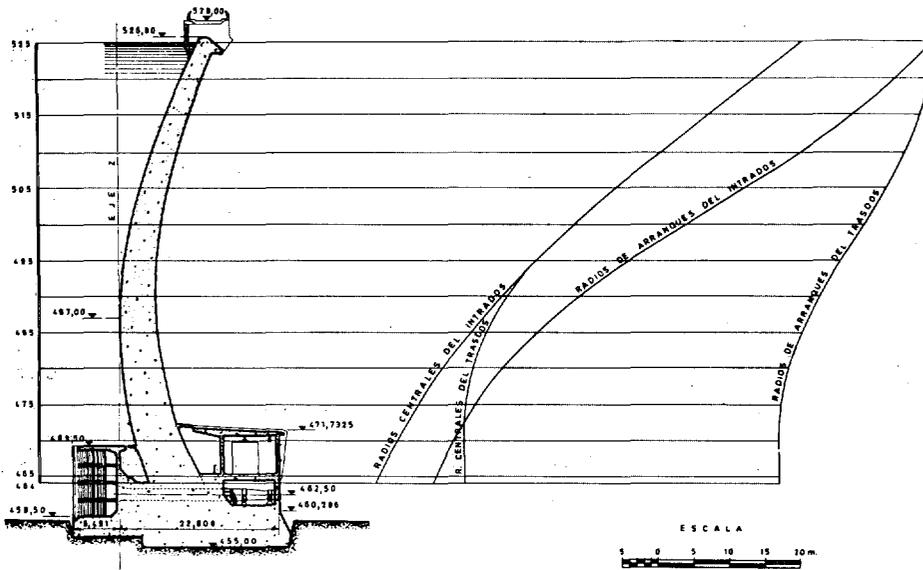


Fig. 4. — Presa de Santa Eulalia. Sección ménsula central.  
(Santa Eulalia Dam. Central cantilever and centerlines.)

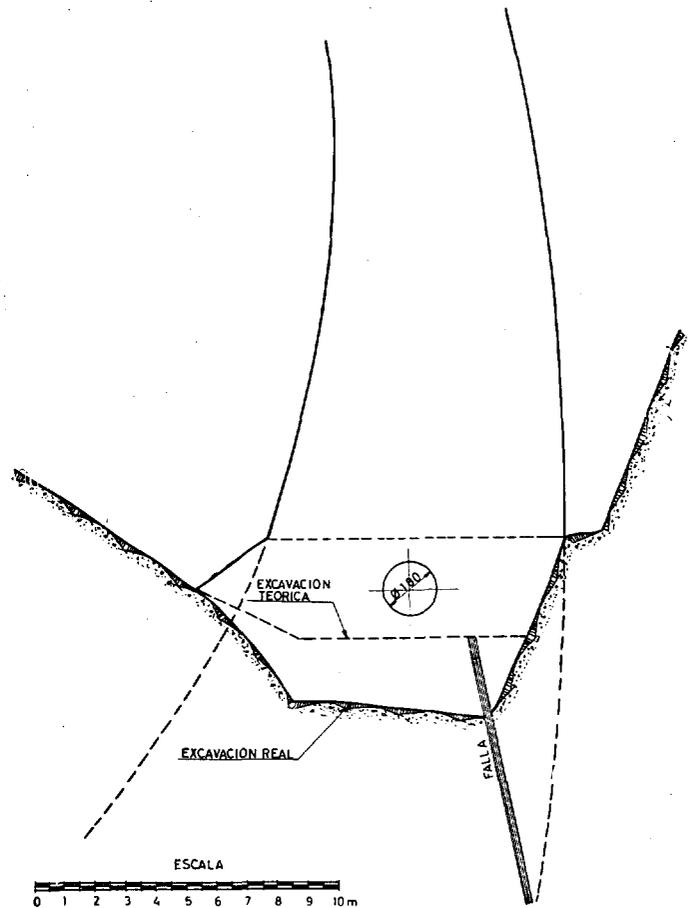


Fig. 5. — Presa de Santa Eulalia. Sección tipo en los bloques 3 y 5.  
(Santa Eulalia Dam. Typical section in blocks 3 an 5.)

miento adecuado por inyecciones, sustitución por hormigón de las zonas afectadas, mayor profundidad de las excavaciones, aumento de peso de hormigón que asegure la estabilidad o la transmisión de esfuerzos a zonas más resistentes e incluso el tratamiento de la roca mediante anclajes.

En el cuenco y ladera izquierda se había detectado una pequeña falla, denominada falla F-1, que afectaba a la cimentación de la parte baja de la presa en el cauce y la ladera izquierda. La importancia de esta falla, según se desprendía de las galerías de reconocimiento perforadas en su mismo plano, no afectaba a la estabilidad del **6**

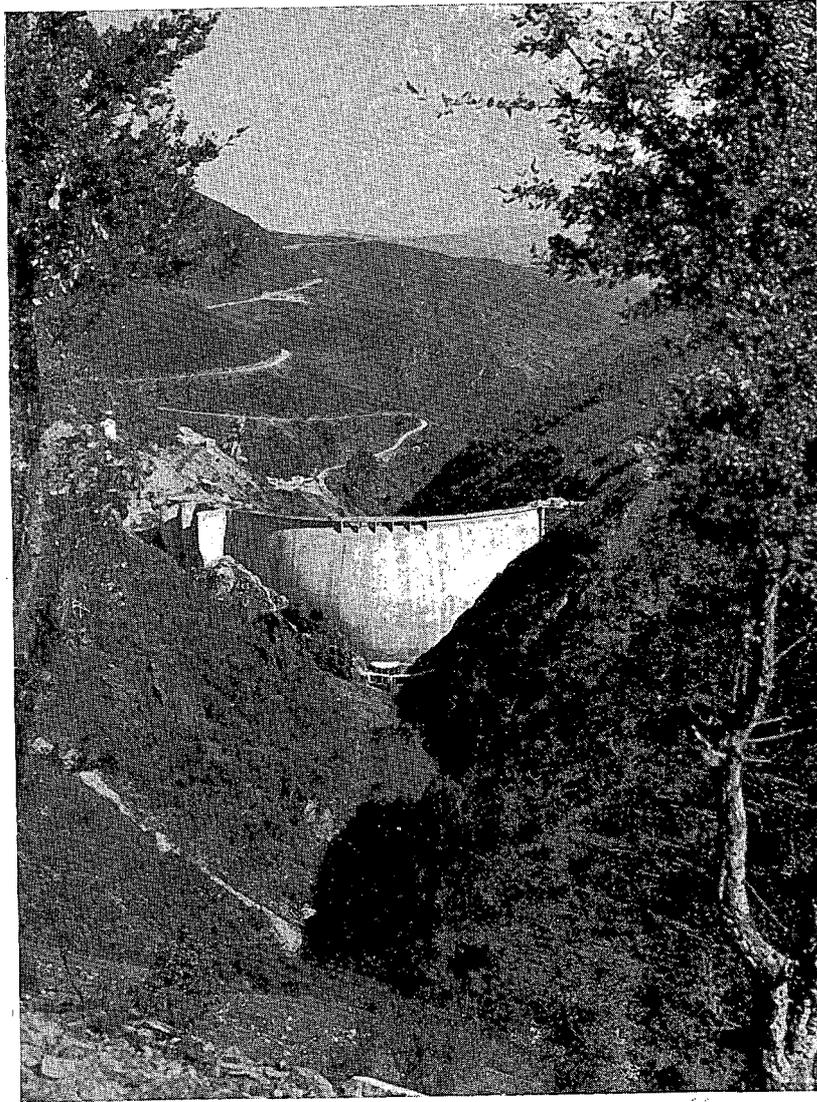


Fig. 6. — Presa de Santa Eulalia. Vista de conjunto agua arriba.  
(Santa Eulalia Dam. Upstream view.)

A título de ejemplo citaremos alguna de las modificaciones que se realizaron en la presa de Santa Eulalia durante su construcción.

La presa de Santa Eulalia es una presa en arco de doble curvatura de 74 m. de altura sobre cimientos (véase la planta y sección de la ménsula central en las figuras 3 y 4).

conjunto, pero al hacer las excavaciones se notó una mayor influencia en la roca correspondiente a los bloques 3 y 5 en la parte baja de la citada ladera izquierda. En la sección de la figura 5, dada según la normal al plano de la cimentación, se indica la dirección de la citada falla. Con objeto de reducir su influencia en la deformabilidad del cimiento se profundizó la cimentación hasta conseguir

que el empuje transmitido por el zócalo de la presa al terreno lo fuera íntegramente agua abajo de dicha F-1.

La misión fundamental del muro en ala que se dispuso en el estribo izquierdo de la presa era la de evitar los empujes hidrostáticos sobre el propio estribo y aumentar

con ello las condiciones de estabilidad del mismo. Al ejecutar las excavaciones de dicho muro en ala, y precisamente también a causa de la citada falla F-1, se vio la conveniencia de darle una forma curva buscando un mejor cimiento y asegurar su estabilidad mediante anclajes

### PLANTA

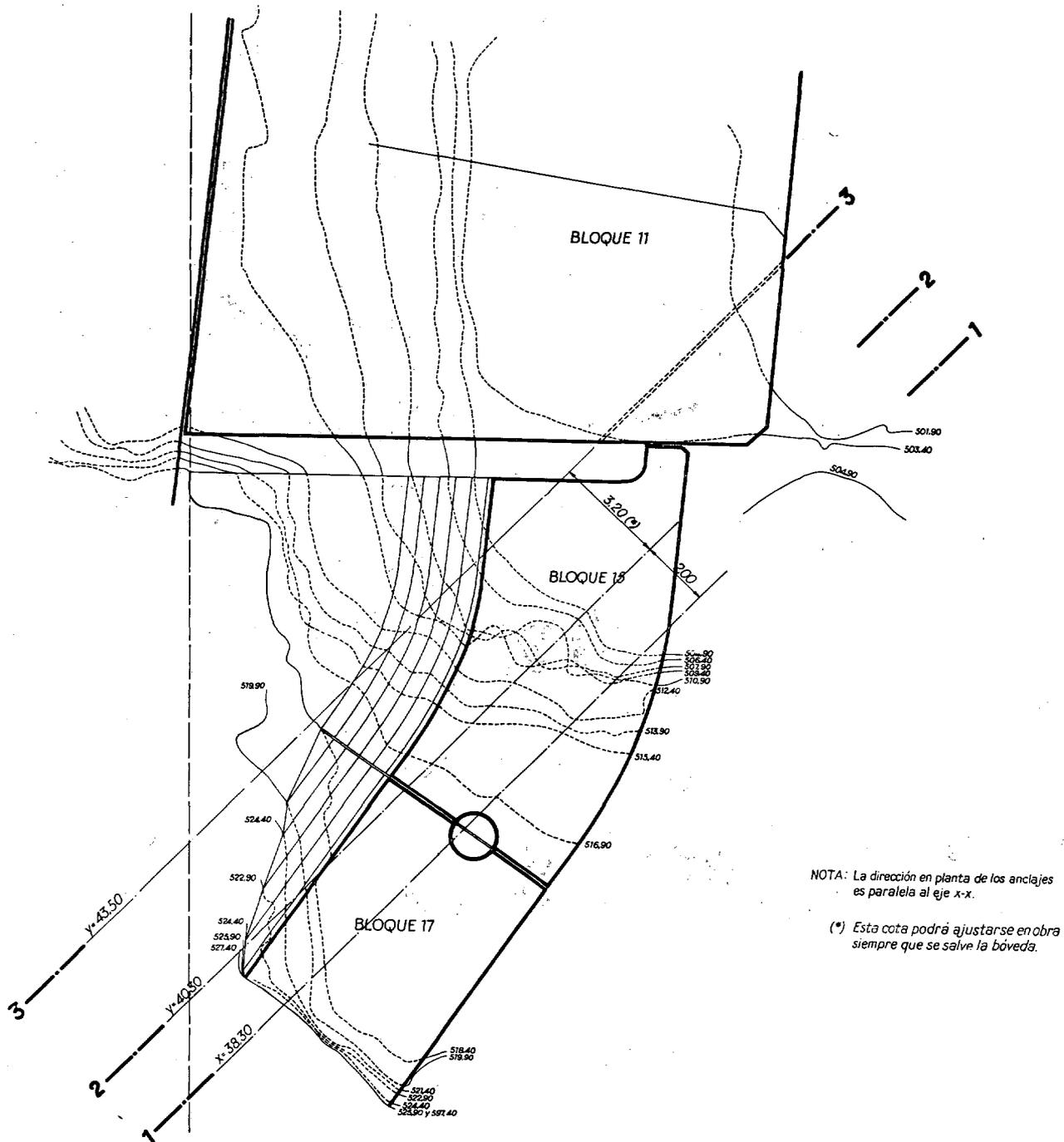


Fig. 7. — Presa de Santa Eulalia, Planta del muro en ala del estribo derecho.  
(Santa Eulalia Dam. Wall flangelayout of the right abutment.)

de 40 Tn. De esta forma, y gracias a la junta abierta entre el estribo y el muro en ala, se aseguró la ausencia de empujes sobre el estribo de dirección normal a los transmitidos por la bóveda (ver figuras 7 y 8).

**GRANDES MODIFICACIONES QUE AFECTAN AL DESARROLLO DE LA OBRA**

Ciertamente, cuando el estudio de la cimentación de una presa se ha realizado partiendo de estudios geológi-

cos concienzudos y bien planeados, es difícil que la solución adoptada en el proyecto de contrata sea irrealizable y sea preciso modificar el tipo de presa adoptado o la situación de la misma. En cambio, puede ocurrir que sea preciso aumentar el empotramiento y modificar, por tanto, la obra en una extensión tal que realmente afecta en forma sensible al conjunto de la misma, o bien puede ocurrir que la importancia de alguna zona próxima a la presa o al embalse sea mayor de la estimada en dicho proyecto y afecte de forma sensible al conjunto de las

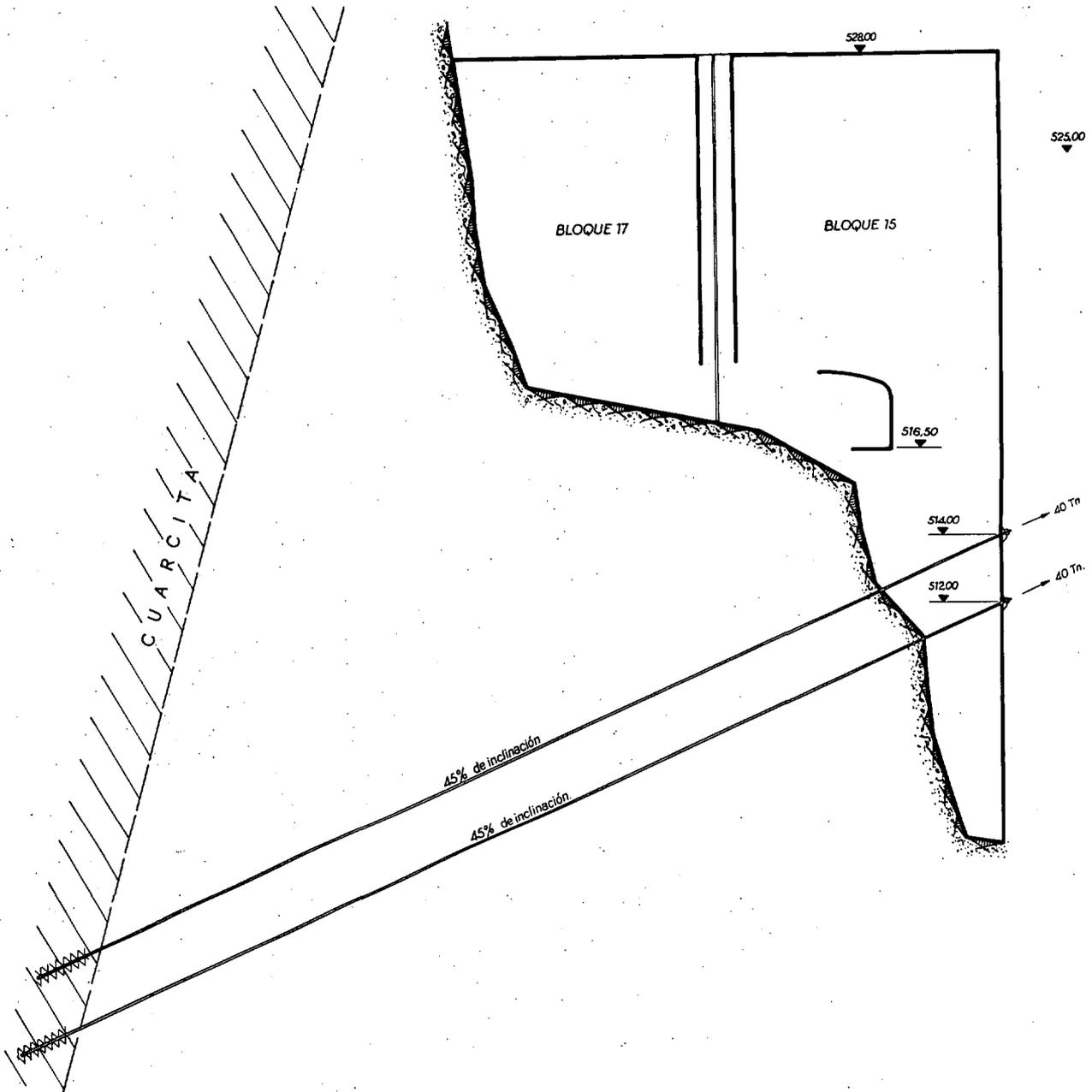


Fig. 8. — Presa de Santa Eulalia. Sección muro en ala del estribo derecho.  
(Santa Eulalia Dam. Section of the flange wall of the right abutment.)

obras. No consideraremos aquí el caso de que el planteamiento del problema provenga de un desconocimiento del terreno por falta de los estudios convenientes, aunque el tema sea muy similar.

Es evidente que cuanto antes se detecte el problema y se plantee en su verdadera dimensión, menores serán los condicionantes económicos y de plazo y se tendrá mayor libertad para llegar a la solución técnicamente mejor.

El proyectista debe disponer de tiempo y presupuesto suficiente para estudiar a fondo todos los aspectos de la cimentación. Si por causas de fuerza mayor no dispuso de tiempo suficiente para estudiar a fondo algún aspecto, debe planearse la ejecución de las obras de tal forma, que pueda reconocer este problema con tiempo y margen suficiente para poder darle la solución más apropiada.

## TRATAMIENTOS DE LA CIMENTACION

La misión encomendada a la roca de cimentación de una presa es doble, la de resistir sin deformación excesiva los empujes transmitidos por la presa y la de impedir el flujo de caudales de agua importantes a su través.

Es cierto que en muchos casos un tratamiento por inyecciones es efectivo y económico, y se pueden conseguir resultados excelentes, no sólo en la mejora de sus condiciones de deformabilidad, sino también en su permeabilidad, pero no son las inyecciones los únicos tratamientos de la cimentación, llegando en muchos casos a ser totalmente ineficaces e incluso en alguna ocasión contraproducentes.

Con la consolidación de un cimientto se pretende conseguir una menor deformabilidad del mismo bajo las cargas a que le somete la presa y el embalse. Muchas veces resulta más económico que realizar la consolidación de un cimientto, el repartir las cargas transmitidas sobre superficies mayores o el transmitir las directamente a zonas más resistentes.

Lógicamente al realizar una excavación para cimentar una presa se produce una decompresión en la roca con la consiguiente apertura de las litoclasas, y esto puede aconsejar un tratamiento de relleno de los huecos. Durante la explotación de un embalse, con ciclos de vaciado y llenado, hay una variación sensible en el estado de tensión del cimientto, pudiendo provocarse aperturas de las litoclasas de la roca, y estos huecos pueden incluso adquirir mayores dimensiones a causa de arrastres sólidos con los caudales de filtración, caudales que a su vez pueden ser modificados por dichos cambios del estado tensional de la roca de cimentación.

Entendemos con esto que la deformabilidad y permeabilidad de la cimentación pueden estar íntimamente ligadas, y lo mismo que ésta puede variar a lo largo de la vida de una presa aquélla también. Por la misma razón que a veces es necesario disminuir los caudales de las

filtraciones, también puede ser conveniente reforzar la consolidación de una cimentación después de unos años de servicio.

Otro factor desfavorable de las filtraciones de una cimentación es el incremento de las presiones intersticiales. Esta razón obliga a llevar siempre enlazadas las pantallas de impermeabilización y drenaje. Posiblemente la repercusión económica de los caudales perdidos por filtración en un aprovechamiento hidráulico no justifiquen, en la mayoría de los casos, el costo de los tratamientos de impermeabilización, pero su repercusión en las presiones intersticiales y en el lavado de las litoclasas justifican muchas veces los grandes costos que suponen estas pantallas.

Es necesario estudiar en cada caso particular la distribución más conveniente de la impermeabilización y el drenaje, pues su proximidad lleva consigo la creación de fuertes gradientes con mayores probabilidades de arrastres sólidos, y su lejanía aumenta los efectos desfavorables de las presiones intersticiales.

## AUSCULTACION DE UNA PRESA

A lo largo de la vida de una presa es preciso conocer la evolución de su comportamiento. De forma sistemática deben tomarse medidas de todas las variables que nos indiquen su estado de conservación. En el mercado mundial existen infinidad de aparatos que nos permiten tomar todas estas medidas con la precisión que deseamos conocerlas, pero de nada servirá hacer todas las lecturas periódicas si no se examinan con juicio crítico por una persona entendida y responsable.

Los valores absolutos que midamos pueden tener su importancia, aunque a veces sea dudoso, pero los valores relativos y sus variaciones con los ciclos de carga y descarga tienen siempre una importancia esencial.

Una presa con grandes deformaciones absolutas puede tener un grado de seguridad elevado si con sucesivos ciclos de vaciado y llenado del embalse y con variaciones térmicas, tiene una evolución de deformaciones repetida y convergente.

Una presa puede estar en grave riesgo de su estabilidad si la evolución de sus deformaciones es divergente, aunque los valores absolutos de las mismas sean reducidos.

De forma análoga una presa puede estar en grave riesgo de sifonamiento, aunque los valores absolutos de los caudales de filtración sean moderados, si éstos están concentrados en un punto y si aumentan a lo largo del tiempo.

En definitiva, lo que se trata con todos los trabajos de construcción de una presa es conseguir una estructura que cumpla unos fines con un determinado coeficiente de seguridad y lo que debe garantizarse en todo momento de la vida de dicha presa es que no disminuya dicho coeficiente de seguridad.