

# COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS

## **PRESA DE COAQUE (ECUADOR). DIFERENCIAS EN LA GESTIÓN Y REDACCIÓN DE UN PROYECTO ENTRE ESPAÑA Y ECUADOR**

**Miguel Ángel Toledo Municio<sup>1</sup>, Francisco Javier Caballero Jiménez<sup>2</sup>, Rafael Morán Moya<sup>3</sup>, José David Pablos Maldonado<sup>4</sup> y Hector Perotas Van Heckenrode<sup>5</sup>**

*RESUMEN: El Proyecto Multipropósito COAQUE forma parte del Portafolio de Proyectos Estratégicos del Instituto Nacional de Preinversión (INP) de Ecuador, como uno de los proyectos prioritarios para el desarrollo local, regional y nacional. El proyecto, tiene como objetivo disponer de una dotación de 3 l/s ha de caudal para riego de una superficie aproximada de 2100 ha y proveer 250 l/hab día de agua para abastecimiento de agua potable a 130.000 habitantes. Con este fin, se prevén diversas obras entre las que destaca la ejecución de una presa sobre el río Coaque de aproximadamente 50 metros de altura y que generará un embalse de 60 hm<sup>3</sup> de capacidad.*

*La comunicación realiza una breve descripción de los trabajos realizados para la presa, centrándose en el estudio previo de once ubicaciones alternativas, el prediseño de cuatro posibles tipologías en la cerrada seleccionada y el desarrollo de la solución finalmente seleccionada, una tipología arco gravedad; y resalta las peculiaridades y diferencias en la redacción de un proyecto en Ecuador con respecto a España, en referencia a la técnica de ingeniería de presas.*

---

<sup>1</sup> Doctor Ing.de Caminos. Grupo de Investigación en SEguRidad de Presas y Aliviaderos (SERPA). U.P.M.

<sup>2</sup> Ingeniero de Caminos. Grupo de Investigación en SEguRidad de Presas y Aliviaderos (SERPA). U.P.M.

<sup>3</sup> Doctor Ing.de Caminos. Grupo de Investigación en SEguRidad de Presas y Aliviaderos (SERPA). U.P.M.

<sup>4</sup> Ingeniero Agrónomo. Departamento de Obras Hidráulicas TECOPY S.A.

<sup>5</sup> Lcdo en CC. Geológicas. Departamento de Obras Hidráulicas TECOPY S.A.

## 1. ANTECEDENTES. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

El Proyecto Multipropósito Coaque forma parte del grupo de Proyectos Estratégicos del Gobierno de Ecuador como uno de los proyectos prioritarios para el desarrollo local, regional y nacional.

El proyecto se enmarca dentro de la Estrategia Nacional de Cambio Climático 2010-2030 como medida de mitigación y prevención. La variación irregular climática, que altera espacial y temporalmente los regímenes de lluvias, temperatura y vientos, se manifiesta cada vez con mayor evidencia en el Ecuador. Anualmente son más frecuentes e intensos los eventos extremos de frío y calor, o fuertes lluvias y duras sequías, que tienden a manifestarse casi en todo el territorio.

Una de las provincias afectadas por estos fenómenos extremos es la provincia de Manabí, que ha experimentado un acentuado déficit hídrico generalizado en los últimos años. A los efectos del cambio climático en la provincia se han sumado el uso creciente del líquido vital y la falta de obras de infraestructura, superestructura y un plan integral para el manejo de los recursos hídricos dentro de la zona, lo que ha provocado graves daños al sector productivo y, entre otras, a las áreas de la población del cantón de Pedernales.

El Proyecto tiene como objetivo disponer de agua regulada en la cuenca el río del mismo nombre que permita el desarrollo agrícola y abastecimiento de agua para el consumo humano en la zona de actuación.



Figura 1. Localización de la provincia de Manabí sobre mapa mudo de Ecuador y cuenca del río Coaque en la provincia de Manabí

Los estudios preliminares del Proyecto Multipropósito Coaque comenzaron en el año 1965, dentro de un Programa de Cooperación Técnica entre la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y el Gobierno de Ecuador. Adicionalmente, en 1979, el Centro de Rehabilitación de Manabí (en adelante CRM) realizó algunos estudios sobre el Proyecto mejorando la información básica de Hidrología, Topografía y Geología.

El Programa de Cooperación técnica incluyó un "Proyecto de Estudio de Desarrollo Hidráulico de la Provincia de Manabí", que fue aprobado dentro del

Programa Presupuesto de la Organización para el ejercicio 1986-1987. El Gobierno de Ecuador decidió que el Proyecto se orientara específicamente a la formulación de un Plan Integral de Desarrollo de los Recursos Hídricos de la Provincia de Manabí (PHIMA), y señalaba como institución ejecutora para dicho Proyecto al CRM, que contaría con el apoyo del Instituto Nacional Ecuatoriano de Recursos Hídricos (INERHI) y la coordinación del Consejo Nacional de Desarrollo (CONADE).

La ejecución de dicho proyecto se llevó a cabo en dos fases:

- La Fase I, entre Noviembre de 1987 y Junio de 1989 que terminó con la entrega de sesenta y tres (63) documentos o informes sectoriales en los que se hace un diagnóstico actualizado y consolidado de la región y de su problemática hidráulica, a la vez que se formulan las metas y estrategias para las cinco (5) zonas de desarrollo en que se dividió la provincia; se identifican también programas y proyectos.
- La Fase II se inició el 25 de Enero de 1989 con la incorporación al Proyecto de la Agencia Internacional de Cooperación del Gobierno de Japón (en adelante JICA) en cooperación con el Gobierno Ecuatoriano, y la cual concluye en el mes de Diciembre con la formulación del Plan Hidráulico de Manabí.

El informe final del PHIMA, en la parte concerniente a la priorización y jerarquización de proyectos, recomendó el desarrollo del estudio de factibilidad del proyecto multipropósito Coaque, para dar solución al déficit hídrico en la zona de desarrollo norte de la provincia Manabí.

En agosto de 2012, el gobierno ecuatoriano, a través de la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) contrata los “Servicios de consultoría para la elaboración de los estudios del proyecto multipropósito Coaque” a la Sociedad Interamericana de Aguas y Servicios S.A. (INASSA), cuyo accionista principal y mayoritario es el organismo español Canal de Isabel II Gestión.

Los trabajos a realizar se dividen en tres fases, estando, a fecha de la redacción de la presente comunicación, entregada la corrección y completado de la fase de factibilidad (o fase 2) tras una primera supervisión por parte de la Fiscalización. Las mencionadas fases son las siguientes:

- Fase 1 Recopilación de la información básica y estudios de Prefactibilidad, que podría equivaler a lo que en España se conoce como estudio de viabilidad aunque con una serie de trabajos a mayores que en este tipo de estudios.
- Fase 2: Estudios de Factibilidad, que equivaldría a un anteproyecto avanzado.
- Fase 3: Diseños Definitivos, equivalente a un proyecto de construcción en España.

## **2. EL PROYECTO DE LA PRESA DE COAQUE**

Dentro de los trabajos del Proyecto Multipropósito de Coaque se incluye el estudio de viabilidad y, en su caso, el diseño de una presa.

En cada una de las dos fases ejecutadas hasta el momento para el proyecto se han llevado a cabo, respectivamente:

- un estudio previo de once ubicaciones alternativas de presa en la primera fase, seleccionando la cerrada que se considero más adecuada tras un estudio multicriterio
- y el prediseño de cuatro posibles tipologías en la cerrada seleccionada y determinación de la más adecuada, desarrollando la solución finalmente elegida, una tipología arco gravedad para la segunda fase

quedando para la fase de diseños definitivos el diseño de detalle de la presa arco gravedad prediseñada.

### 3.1. FASE DE PREFACTIBILIDAD

A partir de la cartografía 1:25.000 desarrollada para la realización de este estudio de prefactibilidad, se realizó un análisis previo de potenciales cerradas tanto en el río Coaque como en el río San José, afluente de éste por su margen izquierda aproximadamente una decena de kilómetros antes de su llegada al núcleo de Coaque.

Inicialmente se identificaron once (11) cerradas topográficamente favorables dadas las características geométricas tanto del cauce del río Coaque como del San José. De cara a identificar las cerradas o grupos de cerradas se estableció una terminología que responde a las iniciales del cauce donde se ubica la cerrada seguido de un código numérico que comienza desde aguas abajo hacia aguas arriba.

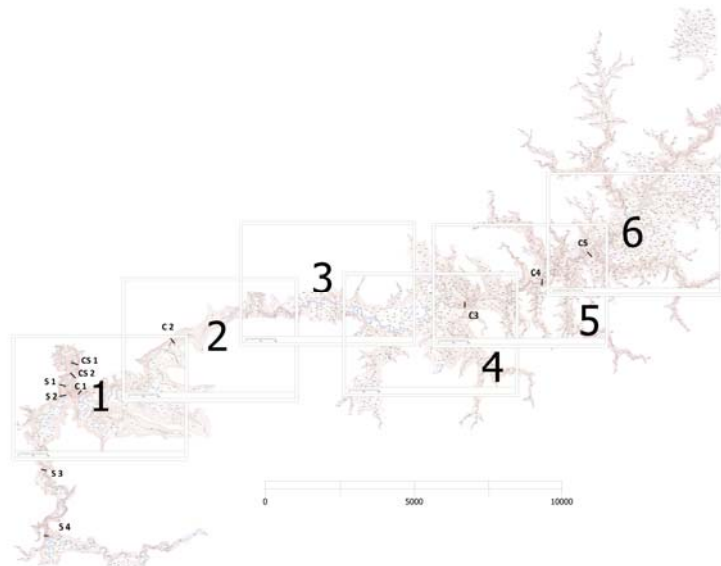


Figura 2. Ubicación de las diferentes cerradas en las cuencas hidrográficas de los ríos Coaque y San José

Se identificaron cuatro grupos de cerradas: uno en el río Coaque aguas abajo de la confluencia con el río San José, otro grupo en el río San José, otro sobre el Coaque aguas arriba de la confluencia y aguas abajo de Atahualpa y,

finalmente, un grupo de cerradas situado aguas arriba de Atahualpa. Así se denominaron las cerradas CS1 y CS2, las cerradas S1, S2, S3 y S4, las cerradas C1 y C2 y las cerradas C3, C4 y C5, correspondientes a cada uno de los cuatro grupos.

Posteriormente, teniendo en cuenta el estudio geológico y geotécnico previo, se descartaron algunas soluciones inicialmente tomadas en consideración. El informe geológico-geotécnico concluye que la zona del río Coaque en el entorno de la población de Atahualpa y aguas arriba del mismo es muy susceptible a la ocurrencia de deslizamientos estando las cerradas C2, C3 y C5 ubicadas en zonas con deslizamientos de consideración. En el río San José el riesgo de deslizamientos es menor y no se han detectado áreas claramente deslizables.

Así, tras descartar inicialmente estas tres cerradas en el río Coaque se continuó con los estudios de viabilidad en su fase de estudios de regulación, estudios de laminación de avenidas, estudio de resguardos y cálculos de dimensionamiento estructural e hidráulico para las cerradas CS1, CS2, C1 y C4 (por estar establecido en los términos de referencia o pliego de condiciones al ser la cerrada propuesta en el PHIMA) mientras que en el río San José se estudiaron todas las cerradas, desde la S1 a la S4.

A partir de los cálculos realizados para estas 8 cerradas alternativas, en las que se prediseñó tanto tipología de presa de materiales sueltos como de hormigón planta recta (a excepción de en la cerrada C4 donde a partir de los datos del estudio geológico-geotécnico previo se descartó la ejecución de una presa de hormigón) por lo que en total se estudiaron de forma previa quince (15) alternativas distintas de presas, alcanzando en las quince una valoración económica con macroprecios a nivel de estudio de viabilidad.

De los estudios realizados se extrajeron las siguientes conclusiones:

- En referencia a las cerradas ubicadas en el río Coaque aguas abajo de la confluencia con el río San José, la CS1 y la CS2, se puede decir que son soluciones con muy buena capacidad de embalse ya que sus vasos engloban las cuencas hidrográficas de los ríos Coaque y San José pero, por el mismo motivo, son cerradas que acumulan grandes cantidades de sedimentos. Necesitan poca altura de agua para cumplir todos los criterios de garantía resultando en presas con alturas relativamente reducidas que, a pesar de sus anchuras, redundan en soluciones relativamente baratas. Están cerca de las zonas regables reduciendo así los costos de transporte pero, al estar a una cota bastante baja, crecen los costos energéticos de bombeo y de manutención. No inundan ninguna población. Son cerradas con buen material de cimiento.
- Aguas arriba de la confluencia, la cerrada C1 es la solución más ventajosa económicamente. El costo de construcción de la presa es reducido derivado de su reducida altura y de la estrecha cerrada. Está cerca de las zonas regables reduciendo así los costos de transporte pero, al estar a una cota bastante baja, crecen los costos energéticos de bombeo y de manutención. Tienen una buena capacidad de embalse pero por otro lado recogen grandes cantidades de sedimentos, en todo caso en menor cantidad que las cerradas CS1 y CS2. No inunda ninguna población. En la cerrada C4 solución por gravedad no se planteo por la baja calidad del cimiento. Presentaba la desventaja de ser la solución más cara debi-

do principalmente a los elevados costos de construcción y de transporte al estar muy lejos de las zonas regables. Sin embargo, tenía la ventaja de abastecer todas las zonas de regadío por gravedad ahorrando los costos energéticos por bombeo y gastos de manutención a lo largo de la vida útil de la obra. Tiene también la ventaja de no inundar ninguna población ya que se encuentra aguas arriba de Atahualpa.

- Por último en referencia a las cerradas del río San José se puede decir que son soluciones con vasos de poca capacidad que dan lugar a alturas de presa elevadas incrementando así los costos de construcción. Además a nivel de afecciones a poblaciones se debe referir que la única cerrada que no inundaba ninguna población (Diez de Agosto) era la S1. Sin embargo son soluciones que se consideraron inicialmente por si los condicionantes geológico-geotécnicos impedían la ejecución de la presa sobre el río Coaque.
- Se comprobó que la tipología de hormigón gravedad resultaba idónea para las cerradas del río Coaque, es decir, las más económicas, mientras que en el río San José la mejor solución era la de materiales sueltos.

Teniendo en cuenta lo expuesto, se preseleccionaron las cerradas CS1 y C1 (con presas de hormigón) y las C4 y S1 (con presas de materiales sueltos), de cara a estudiarlas con un mayor grado de detalle, e integrarlas en un estudio multicriterio.

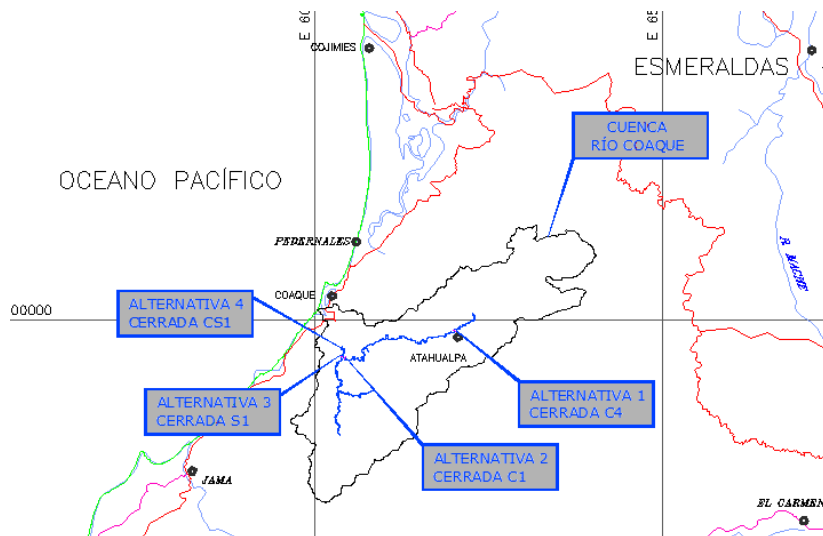


Figura 3. Cerradas preseleccionadas en la fase de prefactibilidad para el estudio multicriterio

El resultado de dicho estudio arrojó como solución más ventajosa globalmente para su desarrollo a nivel de estudio de factibilidad, y posteriormente, de diseño definitivo a la presa de hormigón en la cerrada C1.

Sin embargo, como consecuencia de las dudas existentes acerca de la cimentación de la presa en todo el cauce del río Coaque, y la redacción de un nuevo informe emitido por un experto en el que se citaba la existencia de una potencial falla en la situación de la cerrada seleccionada, la solución aprobada definitivamente en fase de prefactibilidad para la cerrada C1 fue una presa de materiales sueltos zonada con núcleo central de material impermeable.

## 3.2. FASE DE FACTIBILIDAD

### 3.2.1. Inicio de los trabajos

La fase de factibilidad comenzó con las dudas sobre la tipología de la presa y la posibilidad de ejecución del proyecto en varias fases.

De cara a solventar dichas dudas se plantearon los estudios geológico-geotécnicos necesarios para determinar la situación idónea del dique en el cañón donde en fase de prefactibilidad se había decidido ejecutar la presa C1. Para ello se ejecutaron los siguientes trabajos:

- Estudio geofísico en seis posibles cerradas en una longitud de cauce de 400 metros, correspondiente al cañón de la cerrada C1 desde la confluencia con el río Coaque hasta la salida de dicho cañón.
- Ejecución de una trinchera de inspección en la zona de la potencial falla.
- Ejecución de 6 sondeos a rotación con extracción continua de testigo.

Del estudio geofísico se dedujo que la ubicación idónea para ubicar la presa se encontraba al inicio del cañón, en el sentido de avance del cauce, al disponer de una cimentación teóricamente mejor que en la zona más próxima a la confluencia con el río San José.

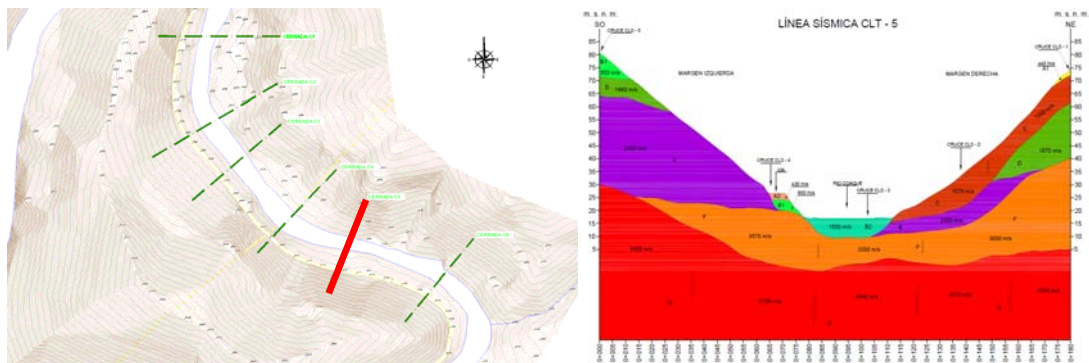


Figura 4. Ubicación seleccionada de forma aproximada para el eje de la presa sobre el río Coaque y perfil geofísico del mismo

De este mismo estudio y de la ejecución de varias trincheras de inspección, se descartó la existencia de una falla en la cerrada, si bien es cierto que por las características intrínsecas de Ecuador se trata de una zona abundantemente fallada, con una falla regional de importancia relativamente próxima a la cerrada así como numerosas fallas secundarias en las proximidades

A su vez, y como consecuencia de los resultados obtenidos en un primer avance de la campaña geotécnica de sondeos obteniendo un material más resistente de lo considerado en la Fase de Prefactibilidad, se decidió realizar, en coordinación con la Fiscalización del proyecto, un estudio de distintas tipologías de presa en la cerrada seleccionada.

Los resultados arrojados por los primeros sondeos realizados mostraban un aluvial de pequeño espesor, con roca andesítica de fragmentación muy mode-

rada en profundidad e intensamente fragmentada entre los 5 y los 15 metros dependiendo del sondeo, lo que permitía claramente la ejecución de una presa de hormigón en dicha cerrada, más teniendo en cuenta las modestas dimensiones de la presa prevista, en el entorno de los cincuenta (50) metros de altura.

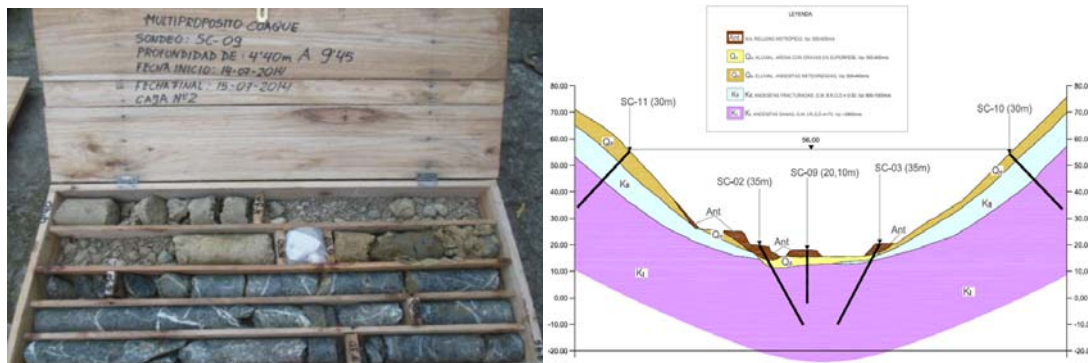


Figura 5. Muestra de roca sana a poca profundidad en sondeos y perfil geotécnico previo a partir de los primeros sondeos realizados en la cerrada, en morado roca sana (andesitas)

### 3.2.2. Estudio de tipología de presa

El objetivo del estudio de tipologías fue determinar la solución tipológica más adecuada para la presa atendiendo a los siguientes criterios:

- Seguridad. Las soluciones propuestas deben considerar la seguridad como algo primordial, siendo seguras frente a fenómenos extremos adversos (sismo, avenidas, deslaves de laderas en el vaso...).
- Funcionalidad. Una tipología es válida únicamente si es funcional, es decir, si cumple adecuadamente con el fin previsto.
- Impacto ambiental. Se ha analizado el daño medioambiental que producen las distintas alternativas, con el fin de reducirlo al máximo.
- Economía. Se busca la mayor eficiencia de los recursos económicos, por lo tanto, es fundamental un correcto y ajustado estudio económico.

En primer lugar fue necesario analizar los condicionantes que determinaron los diseños propuestos. Estos fueron fundamentalmente de tipo topográfico, geológico-geotécnico, el comportamiento frente al sismo y las características climatológicas de la zona.

A partir de este análisis previo se definieron una serie de soluciones alternativas que fueron evaluadas en un análisis comparativo en función de los criterios expuestos de seguridad, funcionalidad, impacto ambiental y coste económico, para determinar la solución elegida.

Así, desde el punto de vista de los condicionantes pueden destacarse los siguientes aspectos:

- Desde el punto de vista topográfico la existencia de una vaguada en margen derecha resultaba favorable tanto para las soluciones de mate-



riales sueltos como para las presas de fábrica, e influyó en la elección de la zona de cerrada.

También puede destacarse la relación cuerda/altura que es de alrededor de 3, muy adecuada para soluciones tipo arco.

Por último, un aspecto a tener en cuenta también es la fuerte pendiente de las laderas que, entre otros aspectos, puede provocar inestabilidades o exigir costosas medidas de estabilización.

- Desde el punto de vista geotécnico, y como ya se ha comentado, puede afirmarse que el sustrato rocoso está formado masivamente por andesita de competencia mecánica adecuada para cualquier tipo de presa, especialmente si se tiene en cuenta que la altura de la presa de Coaque es moderada. El reducido espesor de aluvial hace fácil y económica su eliminación para cimentar una presa de fábrica.
- Otros condicionantes que resultaron determinantes en el estudio de soluciones fueron dos aspectos claramente diferenciales con los proyectos realizados en España y que son la elevada sismicidad de Ecuador y la climatología, vista ésta desde el punto de vista de la elevada pluviometría y de la constancia de temperaturas. En este sentido debe resaltarse que la variación térmica es una sollicitación importante para las presas tipo arco, que en un clima como el del emplazamiento de la presa de Coaque prácticamente desaparece, lo que hace esta tipología más competitiva que en climas con mayores variaciones térmicas.

A partir del análisis a priori de condicionantes detallado se eligieron las siguientes tipologías alternativas para su definición y estudio comparativo:

1. Presa de escollera con núcleo central
2. Presa de gravedad
3. Presa arco-gravedad I
4. Presa arco-gravedad II

Cada tipología presentaba sus fortalezas y debilidades en relación con los potenciales mecanismos de fallo, generalmente de difícil cuantificación numérica, pero que deben tenerse en cuenta en la selección de la tipología para cada caso concreto por su indudable impacto en la seguridad global de la presa.



Figura 6. Solución de materiales sueltos propuesta en el estudio de tipologías

Así, en referencia a la seguridad hidrológica frente al sobrevertido resulta patente la ventaja de cualquier solución de fábrica frente a las soluciones de materiales sueltos. Esta es una ventaja fundamental de las soluciones de fábrica, su fortaleza frente a una acción con gran impacto en la seguridad de la presa y que es difícil de precisar.

Desde el punto de vista de seguridad estructural, las presas de materiales sueltos transmiten tensiones mínimas al terreno, aceptables incluso por un suelo. En cambio las presas de fábrica exigen su cimiento sobre roca. En el pasado se exigía roca de gran calidad para cimentar cualquier presa de fábrica. En la actualidad, cuando las cerradas de mejor calidad han sido ya ocupadas en diversos países y se ha visto la necesidad de cimentar también sobre rocas blandas, se dispone de experiencia y medios para adaptar el diseño de la presa de fábrica a la calidad de la roca existente. La andesita de base de la cerrada de Coaque, que es una roca mecánicamente competente, tiene calidad adecuada para cualquier tipo de presa, adaptando la profundidad del cimiento en función de la evolución de la calidad de la roca en profundidad.

Asumido que la presa es una estructura con buen comportamiento general frente al sismo, podemos decir que la tipología de materiales sueltos presenta la ventaja de su mayor deformabilidad sin fisuración, menor en las presas de pantalla. Sin embargo presenta también diversas debilidades que pueden resumirse en la posibilidad de que asentamientos diferenciales provocados por el sismo influyan en dos aspectos a tener en cuenta en el diseño:

- suponga una pérdida de reguardo, que en el peor caso puede provocar un sobrevertido.
- provoquen la fisuración del elemento impermeable, núcleo térreo en la solución considerada. Si bien la probabilidad de fisuración es menor que en el caso de una presa de fábrica, las consecuencias de una eventual fisuración son mucho mayores, ya que el paso de agua a través de las fisuras del núcleo podrían provocar la rotura de la presa.

Respecto de las presas de fábrica, cabe decir que la resistencia a tracción en situación dinámica, aspecto clave para la potencial fisuración de la presa, es mayor que en situación estática.

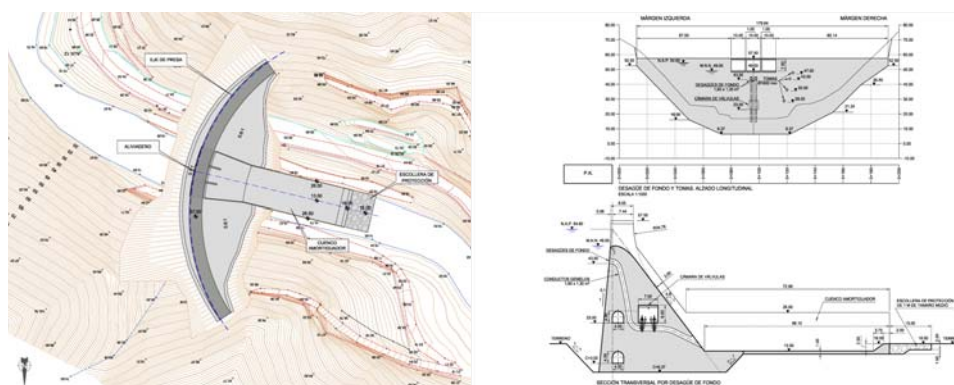


Figura 7. Solución hormigón gravedad planta curva propuesta en el estudio de tipologías

Por último, aunque era claro que todas las tipologías cumplirían con sus funciones de suministro de agua, debe llamarse la atención sobre un aspecto: las tipologías de fábrica permiten de forma sencilla disponer un desagüe pro-

