

# La presa de Caldas de Reis



- 1. El proyecto de la presa de Caldas de Reis**
- 2. La construcción de la presa de Caldas de Reis**

# 1. El proyecto de la presa de Caldas de Reis

Alfredo Gómez Carrasco

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Intecsa

Felipe Mendaña Saavedra

Dr Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Vocal del Comité Nacional de Grandes Presas. Asesor de la Xunta de Galicia

Carlos Oteo Mazo

Dr Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Profesor de la E. T. S. I.C.C.P de Madrid. Asesor de la Xunta de Galicia

## RESUMEN

La presa de Caldas de Reis, situada en el río Umia, es del tipo arco-gravedad de hormigón, tiene 36 m de altura y esta dividida en 14 bloques, sobre los bloques centrales se dispone el aliviadero constituido por 4 vanos de 13m, equipados 2 de ellos con compuertas sector.

Contemplada dentro del Plan Hidrológico de las cuencas de Galicia tiene como objeto la regulación de los caudales ecológicos y el abastecimiento en época estival de la comarca del Salnés.

## ABSTRACT

The Caldas de Reis Dam set on the River Umia is a 36 m high concrete gravity-arch dam divided into 14 sections. The spillway is set in the central sections which is formed by four 13 m spans, two of which being equipped with section overflows.

The dam forms part of the Hydrological Plan for the Galicia basins and serves to regulate the ecological water flow and supply during the summer in the Salnes area.

**L**a presa de Caldas de Reis situada en el río Umia, en el término municipal de Caldas de Reis y aguas arriba de la población del mismo nombre, tiene como función fundamental la regulación de los caudales del río para el abastecimiento de la comarca del Salnés y el mantenimiento de caudales mínimos en la época estival.

## ANTECEDENTES

Los primeros estudios se remontan al año 1970 en que se realizó, a petición del Gobierno Civil de Pontevedra, un estudio a nivel de Anteproyecto del Abastecimiento de agua a la Mancomunidad del río Umia. (Figura 1).

En 1973 y en uno de los emplazamientos previstos en dicho anteproyecto se redactó por parte de Herring S.A. el Pro-

yecto correspondiente en el que se definía como solución una presa de materiales sueltos de 40 metros de altura sobre el cauce siendo la cota de coronación 135 m.s.n.m.

Dado que el estudio geológico existente era insuficiente para una correcta definición de las obras, el Director de la Confederación Hidrográfica del Norte solicitó al Servicio Geológico de Obras Públicas la realización del estudio del terreno. Para este estudio se realizaron 17 sondeos y 9 perfiles sísmicos en la zona y como resultado del mismo se redactó el correspondiente informe por D. Angel García Yagüe.

El problema de las inundaciones que se producen en el curso bajo del río Umia dio lugar, en 1992, a la realización del estudio del funcionamiento hidráulico en avenidas del río y como continuación de dichos estudios y de acuerdo con el Proyecto de Directrices del Plan Hidrológico de las Cuencas de Galicia se procedió, por parte de Segupresa y a petición de la

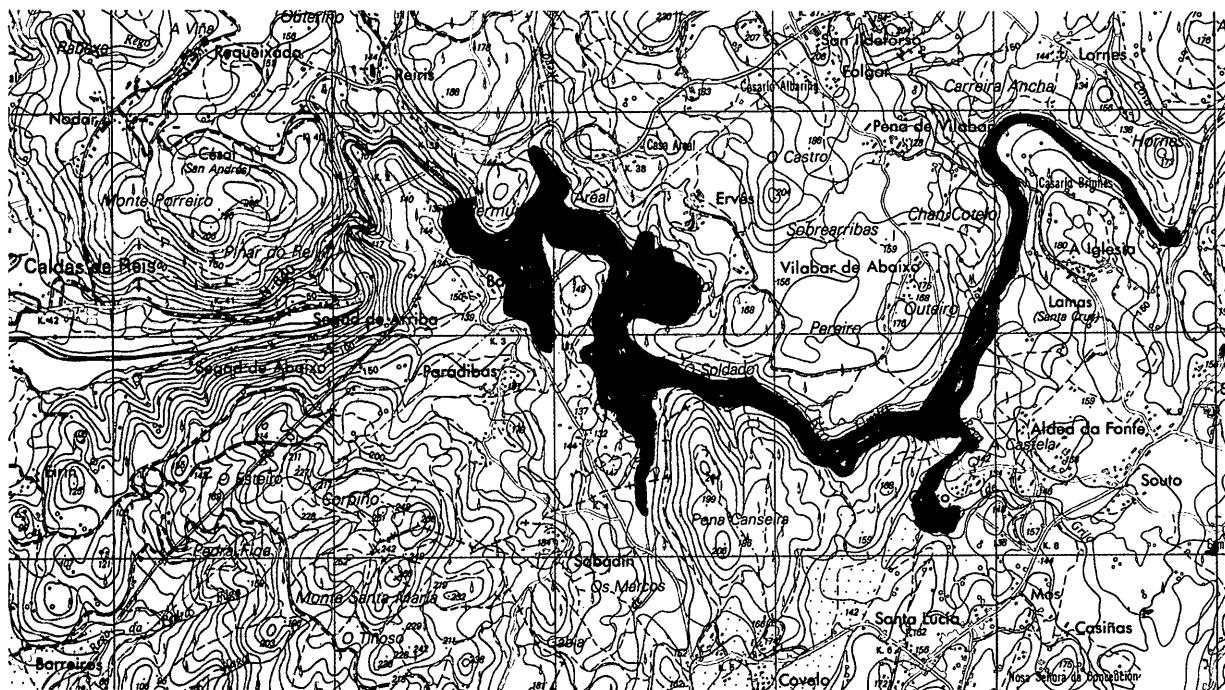


Figura 1.

## CARACTERÍSTICAS DE LAS OBRAS

## CUENCA VERTIENTE

Superficie.....	182 km <sup>2</sup>
Precipitación anual media .....	2.114 mm
Aportación media anual .....	290 hm <sup>3</sup>
Caudal medio del río .....	9 m <sup>3</sup> /s
Caudales punta de avenida:	
TR = 10 años .....	208 m <sup>3</sup> /s
TR = 50 años .....	396 m <sup>3</sup> /s
TR = 100 años .....	495 m <sup>3</sup> /s
TR = 500 años (Av. Proyecto).....	752 m <sup>3</sup> /s
TR = 1000 años (Av. Extrema).....	875 m <sup>3</sup> /s

## EMBALSE

Nivel Máximo Normal (NMN) .....	122,00 m.s.n.m
Nivel Avenida de Proyecto(NAP) .....	124.07 m.s.n.m
Nivel Avenida Extrema(NAE).....	124.90 m.s.n.m.
Volumen de embalse a NMN.....	6,15 hm <sup>3</sup>
Superficie de embalse a NMN.....	81.70 ha

## PRESA

Tipo.....	Arco-gravedad
Altura máxima sobre cimiento.....	36.50 m
Cota de coronación.....	126.50 m.s.n.m.
Longitud de coronación .....	206 m
Sección tipo.....	Triangular
Talud aguas arriba.....	Vertical
Talud agua abajo .....	0.60
Ancho de coronación .....	7.00 m

## ALIVIADERO

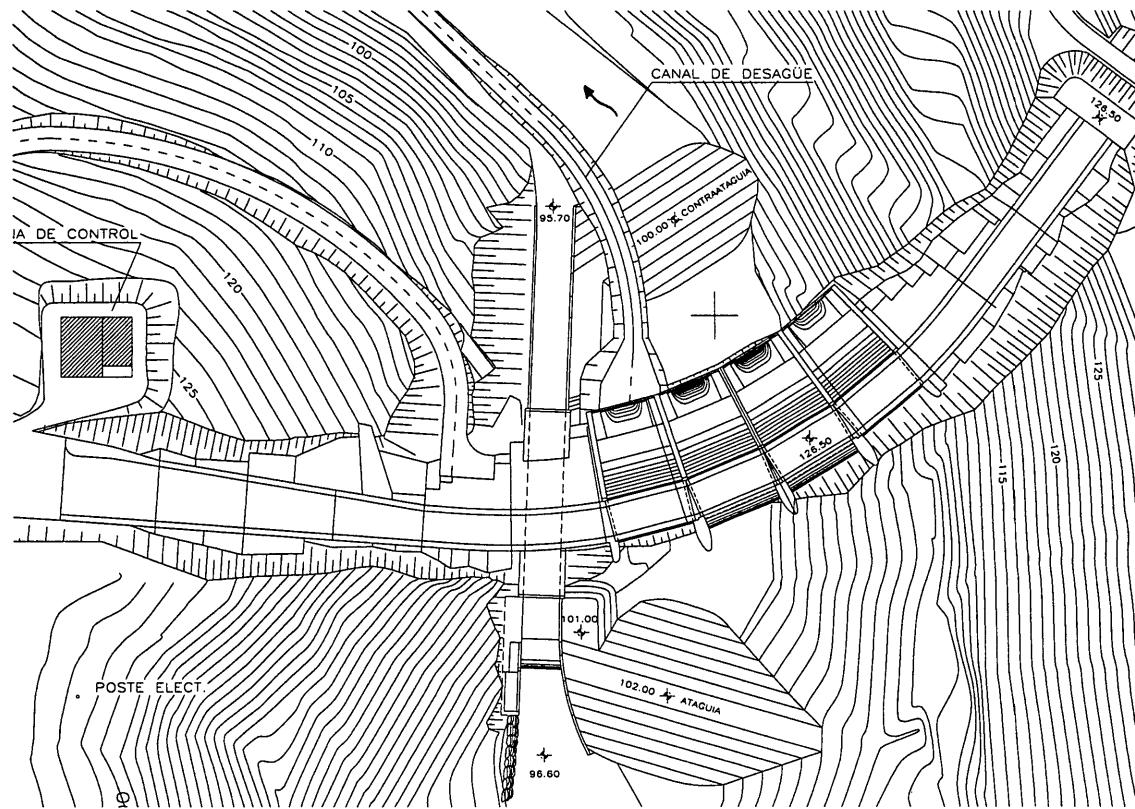
Tipo.....	Mixto
Nº de vanos .....	4
Longitud de cada vano.....	13,00 m
Nº de compuertas .....	2
Cota del umbral de vanos labio fijo .....	122.00 m.s.n.m.
Cota del umbral vanos de compuertas .....	119.50 m.s.n.m.
Capacidad de desagüe a NMN .....	425 m <sup>3</sup> /s
Sistema de disipación de energía.....	Trampolin de lanzamiento
Cota de salida .....	104.00

## DESAGÜE DE FONDO

Nº de conductos.....	2
Cota del eje en la toma.....	99.00 m.s.n.m.
Sección.....	1.25 x 1.50 m
Equipamiento .....	2 válvulas Bureau por conducto

## TOMAS

Nº de tomas.....	2
Cota entrada de toma superior .....	11.50 m.s.n.m.
Cota entrada de toma inferior .....	105.00 m.s.n.m.
Sección.....	2 Ø 0,60 m en entrada .....1 Ø 0,80 m en salida
Equipamiento .....	2 compuertas deslizantes por conducto .....1 Howell Bunker en conducto de salida
Caudales máximos de toma a cota 122:	
Toma superior .....	5.52 m <sup>3</sup> /s.
Toma inferior .....	5.02 m <sup>3</sup> /s



**Figura 2.**

Dirección General de Obras Públicas de la Xunta de Galicia, a la redacción de un nuevo Anteproyecto en el que se adoptaba como solución una presa de gravedad de planta recta corona da a la cota 126,50 con un aliviadero, de labio fijo a la cota 122, con 4 vanos de 17 metros. Para la restitución al río de los caudales regulados se disponía de dos desagües de fondo, si tuados a la cota 99, de sección 1,00 X 1,25 m.

El Proyecto se sometió a información pública en Noviembre de 1995 y como resultado de la misma se formuló, en Mayo de 1996, la correspondiente Declaración de Impacto Ambiental.

En Noviembre de 1997 la Xunta de Galicia convocó el Concurso de Proyecto y Ejecución de la Presa de Caldas, indicando que se valoraría especialmente la disminución de la cota del máximo nivel extraordinario. La U.T.E. Dragados- Abecansa con el fin de concurrir a dicho Concurso encargó a Intecsá la elaboración y redacción del Proyecto, tomando la decisión de presentar una variante a la estructura de la presa consistente en una presa arco-gravedad que fue objeto de la posterior adjudicación y es por consiguiente la solución construida. (Figura 2).

## **DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS**

La presa propiamente dicha esta constituida por una estructura reticulada de hormigón compuesta por arcos y ménulas, que instalada en el cauce constituye el elemento de cierre del embalse. La sección transversal base es triangular

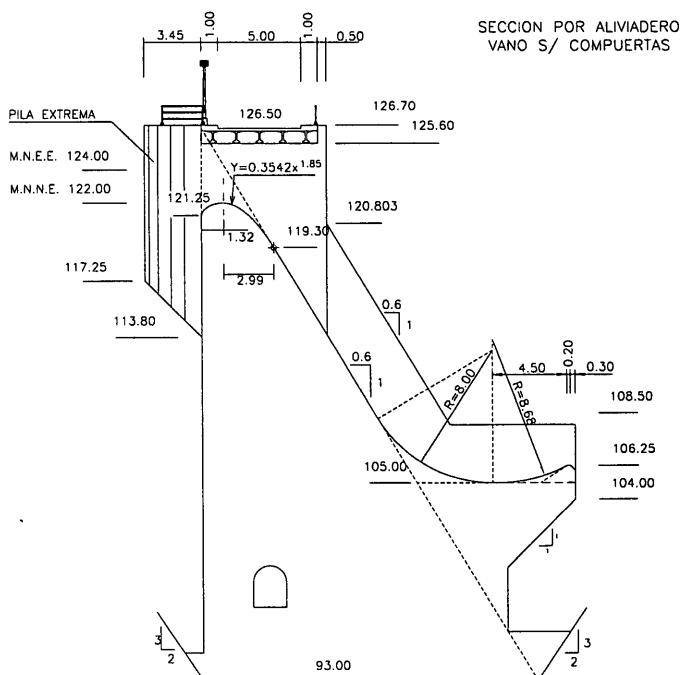


Figura 3.

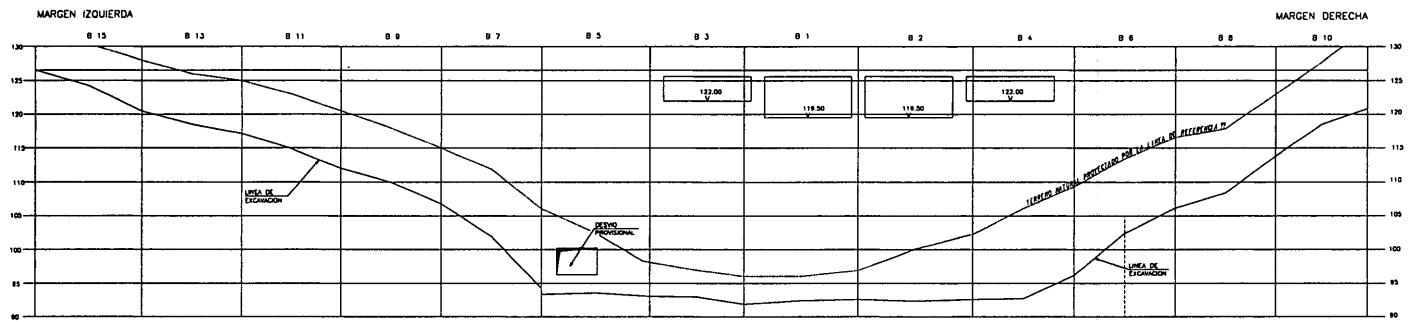


Figura 4.

con taludes vertical aguas arriba y 0,6 H / 1,0 V en el paramento de aguas abajo, con el vértice a la cota de coronación. (Figura 3).

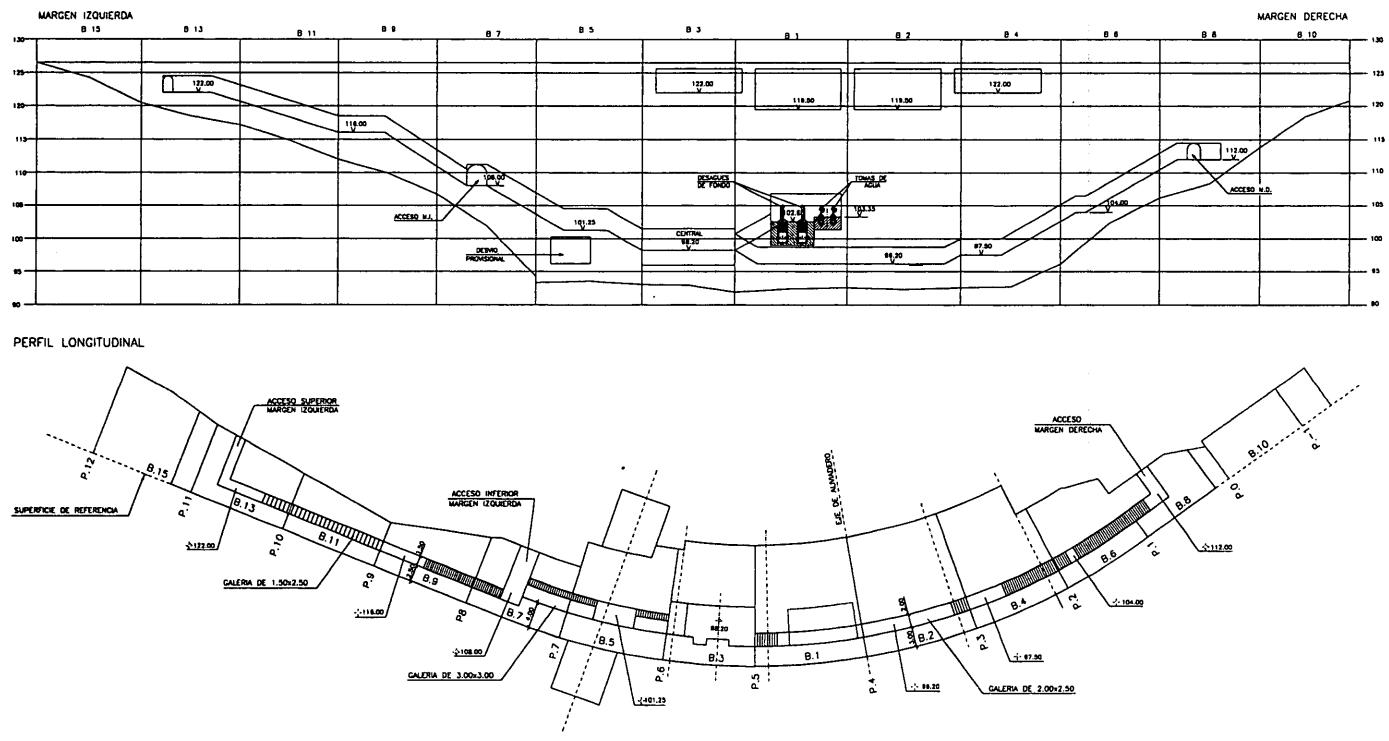
El paramento de aguas arriba de la presa esta definido, en planta, por un arco de 100 m de radio en la zona central y dos alineaciones rectas en las zonas de estribos de 70 m en la margen izquierda y 36 m en la margen derecha.

La presa se ha dividido en 14 bloques de 15 metros, excepto los 2 centrales de 17 m en los que se ubican los aliviaderos de compuertas y uno de 16 m en el estribo izquierdo, para la instalación del desvío. Los bloques están separados por juntas que en general se adaptan a los quiebros de la línea de cimentación. Es-

tas juntas se inyectaran una vez concluido el hormigonado de la presa para conseguir el efecto arco en la estructura. (Figura 4).

En el interior del cuerpo de presa y a lo largo de la misma y sensiblemente paralela a la cimentación, y a unos cuatro metros de esta, se ha previsto la construcción de una galería de sección rectangular abovedada de 2,00 m de ancho y 2,50 m de altura desde la que se controlará el comportamiento de la presa y el cimiento. En ambas márgenes se han establecido, en el paramento de agua abajo salidas al exterior para la aireación de las galerías. En la margen izquierda se ha previsto un acceso a cota 106.40 al que puede llegarse por el terreno mediante un camino trazado al efecto desde coronación. (Figura 5).

Figura 5.



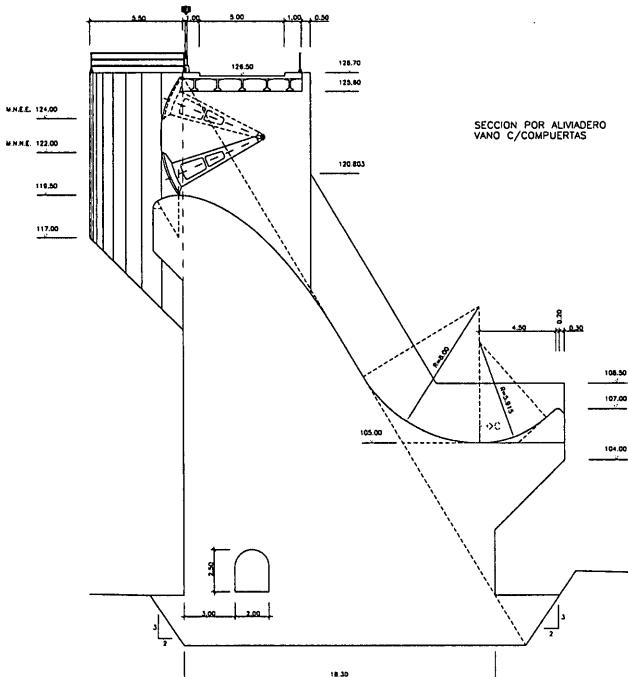


Figura 6.

Sobre los bloques centrales de la presa se ha dispuesto el aliviadero, constituido por cuatro vanos de 13 m, los dos centrales con el borde superior del vertedero a cota 119,50 y los laterales a cota 122. Sobre los dos primeros y para conservar la cota del nivel normal de explotación del embalse se instalan sendas compuertas de tipo sector que permitirán, mediante su apertura, incrementar los caudales de evacuación de avenida, reduciendo de esta manera la cota máxima de inundación. El perfil de los aliviaderos es de tipo Bradley, encajado en la sección triangular, en los vanos de labio libre y retranqueado hacia aguas arriba, en los equipados con compuertas. (Figura 6).

La restitución al cauce de los caudales vertidos por el aliviadero esta previsto realizarla mediante lanzamiento en un trampolín situado sobre el paramento de aguas abajo con salida a cota 105. Con el fin de dispersar el chorro de agua y disminuir el efecto de impacto sobre el terreno se ha dispuesto en cada vano un diente formado por una superficie central cilíndrica y dos planos horizontales laterales enlazados mediante superficies de transición.

Sobre la coronación discurre una carretera, para uso exclusivo de la presa, de 5m de calzada y aceras de 1m, que salva el aliviadero mediante un puente de vigas de 0,70 metros de canto y 13 metros de luz libre. El acceso a la presa se ha previsto por la margen izquierda desde la carretera existente mediante un camino de nuevo trazado.

Incorporadas al cuerpo de presa, en el bloque 1, en la zona del cauce, se han instalado las tomas y los desagües de fon-

do. Las tomas principales, para usos ecológico y consumutivo están constituidas por dos tuberías de 0,60 m de diámetro, con toma a cota 111,50 la superior y 105 la inferior, independientes en su primer tramo que se unen posteriormente en una sola de 0,80 m de diámetro para la restitución al cauce, ambas tuberías van equipadas con una válvula de compuerta de apertura/cierre para la puesta en servicio de la toma correspondiente y una válvula del mismo tipo, situada aguas arriba de la anterior, con funciones de seguridad y permitir si fuese necesario, la reparación de la válvula de servicio. Sobre la tubería de 0,80 y en la zona de salida, a cota 102,5, se ha previsto la instalación de una válvula tipo Howell-Bunger para la restitución al cauce de los caudales de toma.

Los caudales suministrados por estas tomas varían entre 2,24 m<sup>3</sup>/s con el embalse a cota 106 y 5,83 m<sup>3</sup>/s a cota 122, con lo que se pueden suministrar suficientemente los caudales mensuales previstos, ya que los valores máximos solicitados lo son en los meses invernales cuando el embalse se encuentra a cotas más altas.

Los desagües de fondo están constituidos por dos conductos metálicos rectangulares de 1,25 X 1,50 m, equipados cada uno de ellos de dos compuertas, tipo Bureau, con salida al cauce a cota 99,870, por debajo del trampolín del vertedero. (Figura 7).

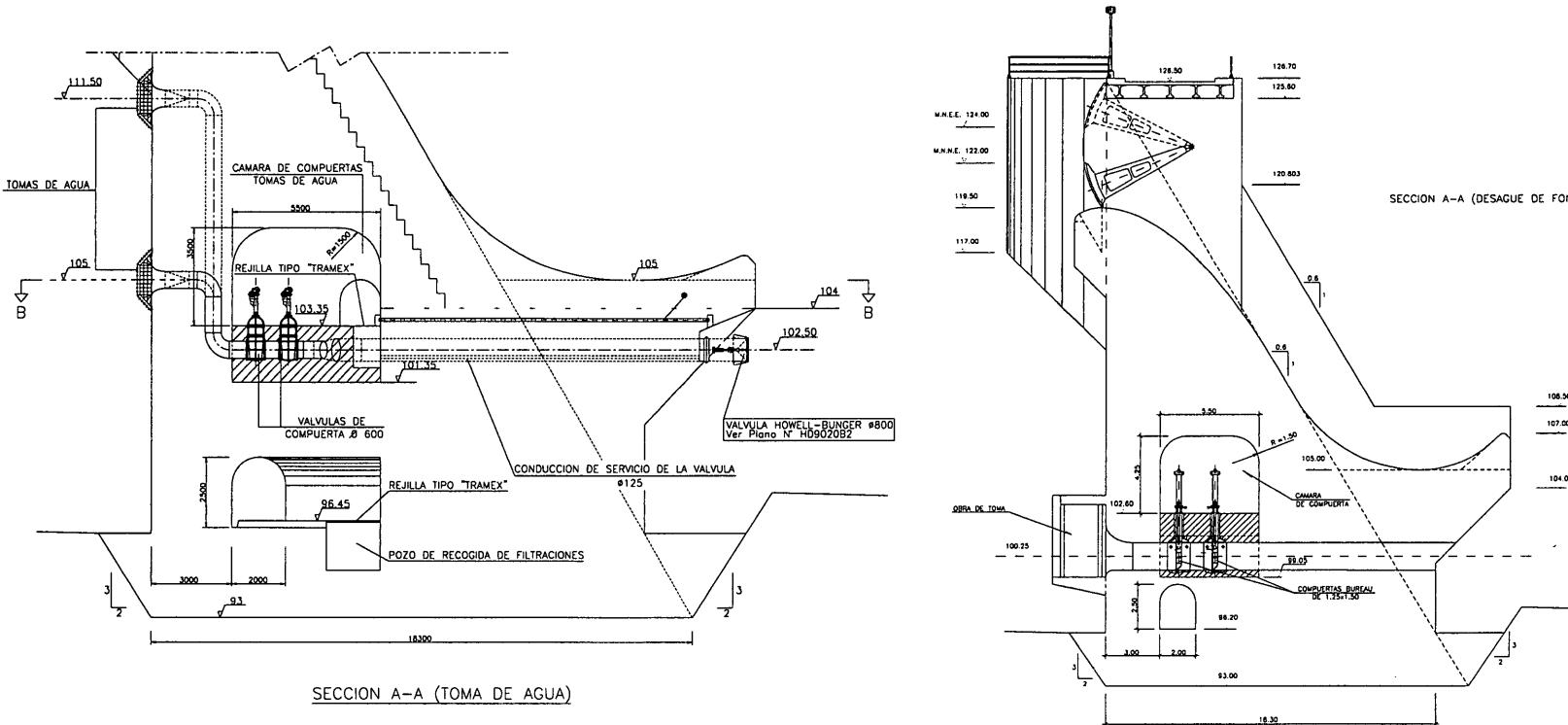
Para poder controlar el comportamiento de la presa frente a las diversas solicitudes a que se verá sometida se ha previsto un sistema de auscultación y control compuesto por los siguientes elementos:

- ▼ Un sistema de bases topográficas en las laderas del cauce
- ▼ 6 dianas geodésicas en el paramento de aguas abajo de la presa
- ▼ 13 bases de nivelación en la plataforma de coronación
- ▼ 13 medidores de desplazamiento de juntas en coronación
- ▼ 11 medidores de desplazamiento de juntas en las galerías
- ▼ 30 termómetros en el interior del cuerpo de presa
- ▼ 3 aforadores Thompson en las galerías
- ▼ 2 extensómetros de varillas
- ▼ 1 péndulo directo
- ▼ 2 péndulos inversos (Figura 8).

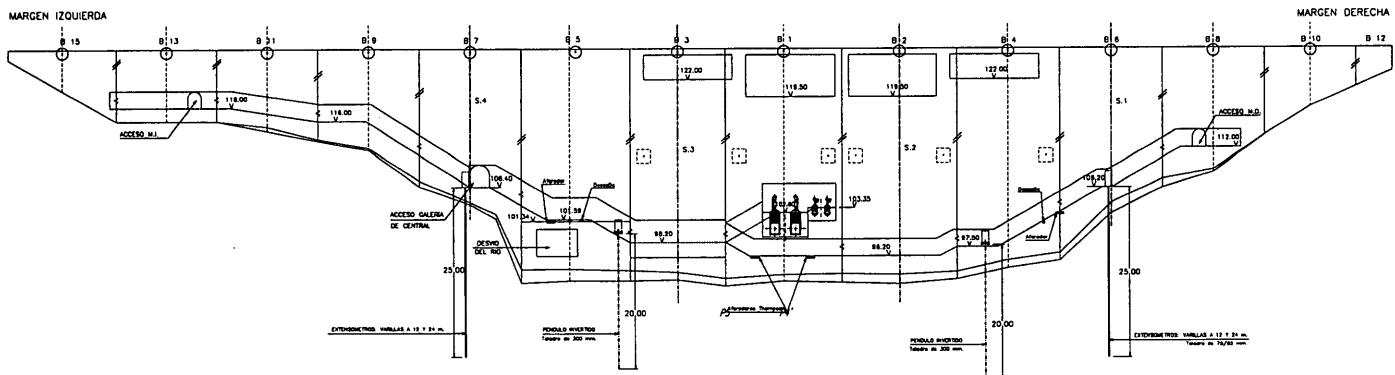
## ESTUDIOS REALIZADOS

**Hidrología.**- Las aportaciones al embalse se determinaron a partir de los registros de precipitaciones, del periodo 1945-1992, de La Estrada, Herbón y Bugarin correlacionados con los registros foronómicos, del periodo 1970-1992, de la estación de aforos de Caldas de Reis.

Los resultados del estudio, en hm<sup>3</sup> /mes, se resumen en el cuadro 1.



**Figura 7.**



**Figura 8.**

## Cuadro 1

	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Mínimo mensual	1.27	1.54	3.37	16.99	2.66	0.00	1.35	1.87	0.00	0.00	0.04	0.55
Superado el 75% de los años	6.89	12.74	15.74	18.80	18.74	14.80	11.89	11.76	6.22	2.62	2.13	3.49
Superado el 50% de los años	12.88	21.53	30.13	40.77	27.30	33.20	20.02	16.54	10.40	4.58	3.87	5.97
Superado el 25% de los años	29.54	39.93	56.47	60.87	54.08	46.20	36.40	24.56	14.37	6.46	5.79	14.30
Máximo mensual	86.82	103.50	155.80	91.92	182.40	72.30	62.14	99.05	33.41	33.00	20.70	49.26

Cuadro 2

	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Caudal m <sup>3</sup> /s	3.00	4.50	4.50	4.50	4.50	4.00	3.50	3.00	2.50	2.10	2.10	2.10
Volumen hm <sup>3</sup> /mes	8.03	11.66	12.05	11.66	10.88	10.71	9.07	8.03	6.48	5.62	5.62	5.44

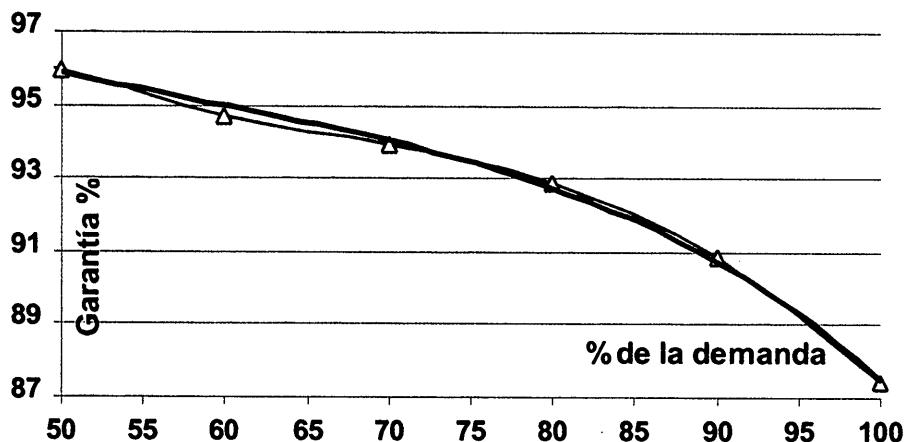


Figura 9.

**Necesidades de agua.**- Las demandas consideradas fueron fijadas en la Declaración de Impacto Ambiental, modificando las consideradas en el anteproyecto a petición de la Dirección General de Montes y Medio Ambiente Natural de la Xunta de Galicia, en los valores reflejados en el cuadro 2.

**Regulación.**- La cota del nivel máximo normal del embalse, 122 m.s.n.m., se fijó en los estudios de anteproyecto teniendo en cuenta la obtención de un volumen de regulación suficiente y evitando la afección a edificaciones en uso.

Tras la modificación de las demandas en la D.I.A. se analizó el comportamiento del embalse para los nuevos valores de demanda obteniéndose una garantía mensual del 87,2 % que se consideró satisfactoria por lo que no se modificó el dimensionamiento de la presa.

En la figura 9 se presenta la curva de garantía en función del porcentaje de la demanda suministrado

**Estudio de avenidas.**- El estudio de las avenidas en el emplazamiento de la presa fue realizado por Segurpresa con motivo de los "estudios del funcionamiento hidráulico en avenidas

de la cuenca del río Umia en Caldas de Reis".

El método empleado fue la simulación hidrológica de la cuenca, mediante el modelo matemático HEC-1, a partir de los pluviogramas obtenidos del análisis de las cuenca y de los registros de la estaciones meteorológicas anteriormente citadas.

Los resultados obtenidos se resumen en el cuadro 3.

**Ubicación del eje de la presa.**- La situación del eje de presa ha sido objeto de una serie de cambios hasta su implantación definitiva.

En el Anteproyecto de Segurpresa se situaba en la posición E.1. En el proyecto de licitación, con el fin de aprovechar la configuración topográfica en el estribo derecho, se desplazó girándola ligeramente hasta la posición E.2, buscando unos afloramientos rocosos cuya presencia se sospechaba por el trazado de las curvas de nivel, posteriormente confirmados al realizarse los primeros trabajos de desbroce hechos por la U.T.E. adjudicataria de las obras.

La presencia una surgencia de agua y de una posible falla en el emplazamiento previsto condujo a investigar la zona en detalle para localizar un sitio alternativo al emplazamiento original, pero dentro de un margen lo más reducido posible para no afectar a las características básicas del Proyecto y a la elección de un emplazamiento alternativo, E.3, situado unos 60 m aguas arriba para el diseño definitivo. (Figura 10).

**Geología-Geotecnia.**- El emplazamiento de la presa ha sido objeto de una serie de estudio dilatados en el tiempo. Los estudios como se ha indicado anteriormente se iniciaron en el año 1973 y han continuado hasta la ejecución de las obras.

Para estos estudios ha realizado una importante serie de reconocimientos que puede resumirse en las siguientes cifras (1).

Cuadro 3

T.R.(Años)	2	5	10	25	50	100	500	1000
Caudal punta ( m <sup>3</sup> /s)	71	145	208	310	396	495	752	875
Volumen ( hm <sup>3</sup> )	2.80	5.40	7.60	11.00	13.80	17.10	25.70	29.80

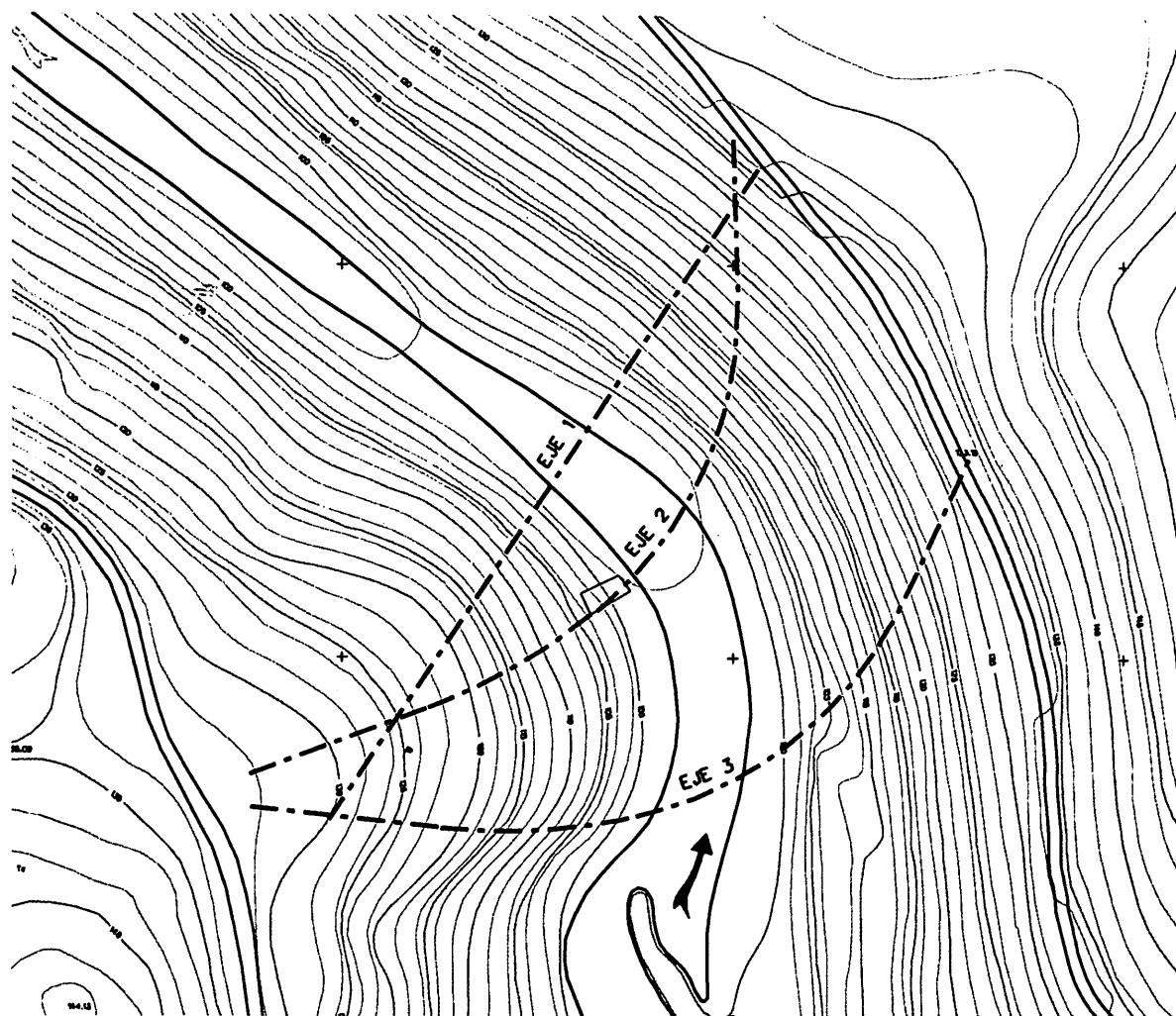


Figura 10.

- ▼ 27 Sondeos mecánicos con testificación continua
- ▼ 750 metros perforados
- ▼ 35 ensayos SPT en suelos granulares y granito meteorizado.
- ▼ 14 ensayos Lefranc de permeabilidad en sondeos
- ▼ 11 ensayos Lugeon de permeabilidad en sondeos
- ▼ 28 perfiles sísmicos con un total de 2420 metros lineales investigados.
- ▼ 11 sondeos eléctricos verticales

La morfología de la cerrada corresponde a la de una región en donde los granitos son la tónica dominante, con relieves alomados en donde destacan afloramientos rocosos de roca sana, como característica más relevante.

Los granitos existentes en el área de emplazamiento de la cerrada y vaso, aparecen con abundante fracturación que favorece la alteración de los mismos a través de su fisuración.

Las direcciones de fracturación preferentes observadas corresponden a las de la región siendo las familias NNE-SSO y NE-SO las más representativas. Asociadas a ellas y con igual

dirección, aparecen abundantes diaclasas que facilitan la disgregación de la roca madre originaria.

Las características de los materiales, unidas al alto grado de fracturación, y a las condiciones climatológicas de la zona con abundantes lluvias, originan una secuencia de jabre, roca alterada, y roca diaclasada. Estos horizontes, de espesor variable, descansan sobre roca sana con baja fracturación. Dado que no era posible realizar una exacta separación entre estos niveles en profundidad, el análisis de los datos existentes se realizó atendiendo a los siguientes grupos geológico-geotécnicos:

- ▼ a) Suelo-jabre
- ▼ b) Roca alterada
- ▼ c) Roca sana con diaclasas
- ▼ d) Roca sana

En la documentación de Herring S.A. (1973), de los 8 sondeos reseñados solo uno (S-4) queda situado en el emplazamiento de la cerrada. En el estudio del S.G.O.P existen 7 sondeos en la zona de la cerrada. Como complemento de estos

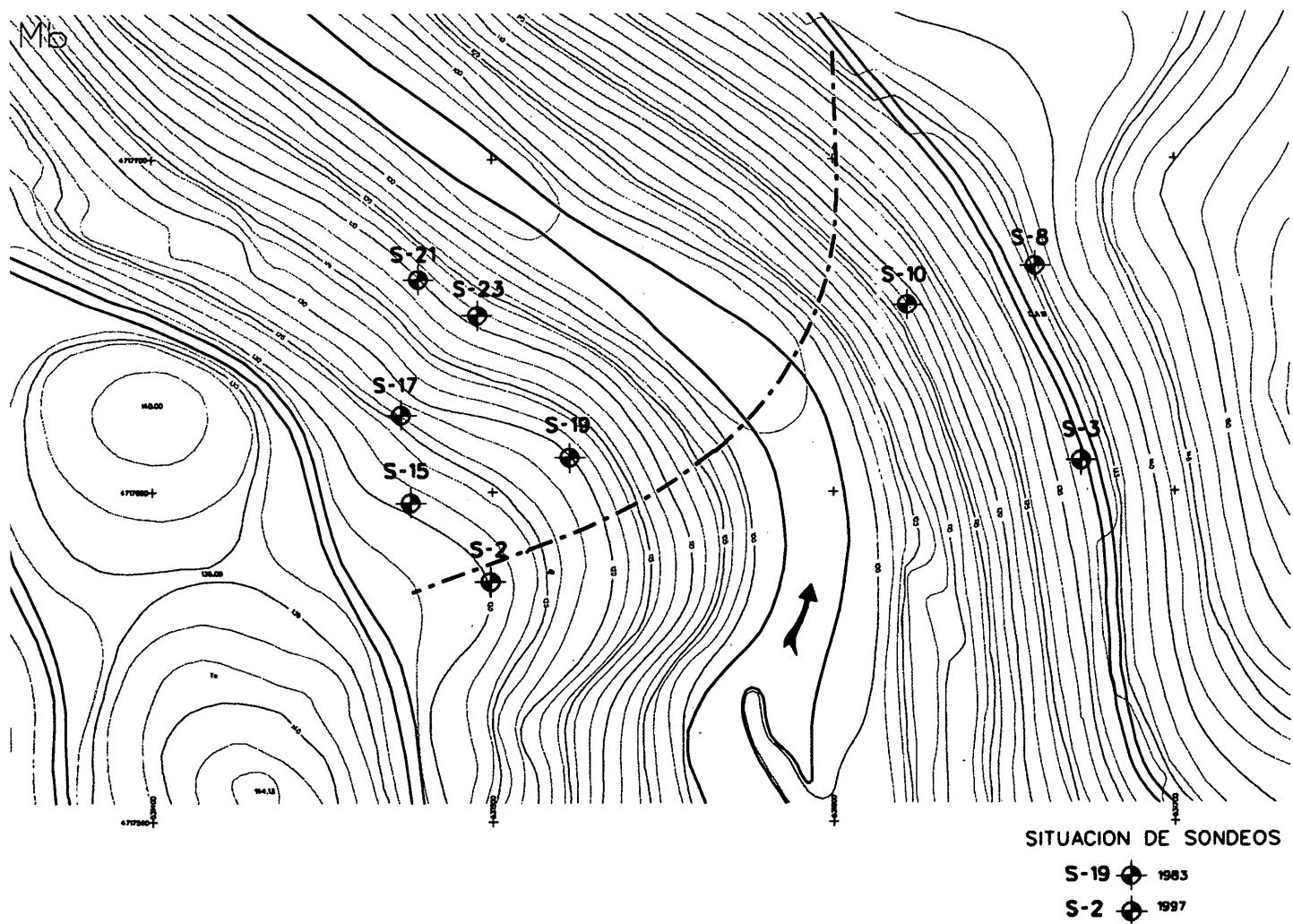


Figura 11.

datos, y para la preparación del Concurso se realizaron dos nuevos sondeos

La distribución en planta de estos reconocimientos se muestra la figura 11.

La geofísica (sísmica de refracción) ha identificado con claridad un modelo aplicable al macizo rocoso, consistente en las tres capas siguientes:

▼ Capa 1 (Capa superficial). Corresponde al recubrimiento y está formada por suelos y/o roca granítica completamente meteorizada (jabre). Sus velocidades sísmicas oscilan entre 350 y 400 m/s y sus espesores están comprendidos entre 2 y 5 m.

▼ Capa 2 (Capa intermedia). Corresponde a la roca granítica meteorizada. Sus velocidades están comprendidas entre 1.000 y 1.700 m/s, con predominio de los 1.200 a 1.400 m/s. Su espesor mínimo es de 3 a 4 m en las proximidades del cauce. Se trata de una roca ripable cuyas caracte-

ticas que se consideraron insuficientes para la cimentación de la presa.

▼ Capa 3 (Capa profunda). Corresponde al substrato granítico inalterado. Sus valores de velocidad sísmica son altos, superando normalmente los 3.000 m/s y llegando incluso a 4.000 m/s. Se dispone bajo la capa anterior formando el resto del macizo rocoso.

La línea teórica de excavación se ha definido teniendo en cuenta la información de los sondeos y la de las líneas sísmicas. En los sondeos se ha señalado hasta donde existe roca con grado de meteorización igual o menor que II y en las líneas sísmicas se ha definido para velocidades del orden de 2.500 m/s, en todo caso superiores a 2.000 m/s. (Figura 12).

La roca meteorizada, grado de meteorización V, capa 2, puede excavarse fácilmente y su disagregación produce un material arenoso con algo de finos.. Se trata pues, de una arena de grano medio a fino con indicios o algo de finos que "in

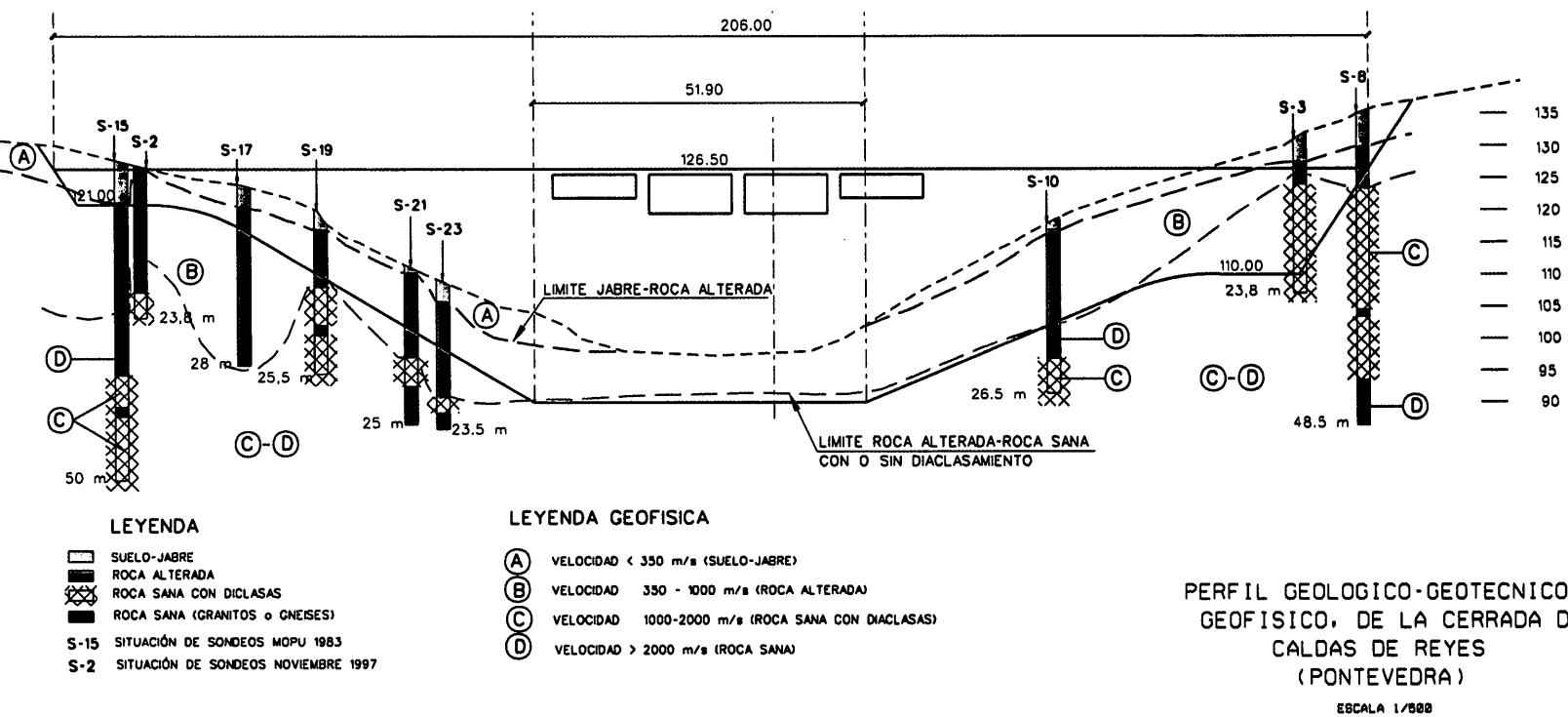


Figura 12.

situ" parece algo compacta precisamente por la cementación que presenta. Su densidad relativa es muy alta. Los ensayos S.P.T. dan valores muy altos en los primeros metros (valor mínimo de 46 golpes) y a partir de una profundidad de 12 a 15 m se obtiene rechazo sistemático. En esta formación no se realizaron ensayos de su resistencia al corte pero su comportamiento estable en taludes verticales o muy poco inclinados, que pueden observarse en las carreteras de la zona o en canteras donde se explota este material como árido, indica que tienen algo de cohesión y un ángulo de rozamiento elevado.

En las excavaciones de la presa se mantienen estables taludes de 5 a 6 m, casi verticales, lo que implica unas cohesiones importantes. A profundidades de 6-7 m, el jabre se ha comportado como una roca de resistencia a la compresión simple de hasta 20 kp/cm<sup>2</sup> aunque fracturada. Esto conduce a considerar una resistencia del macizo del orden de la quinta parte y una cohesión equivalente de la décima parte (2 kp/cm<sup>2</sup>)

Los materiales que forman el macizo rocoso granítico, capa 3, constituyen el terreno en el que se cimenta la presa. Para evaluar su comportamiento geotécnico se han analizado por un lado las características de estado y resistentes de la roca en sí (matriz rocosa) y por otro lado las características de las discontinuidades que compartmentan el macizo y que sirven de superficie de contacto entre los bloques de la matriz rocosa.

En el fondo de la excavación aparece la roca con un grado de meteorización II (grado que corresponde a una meteorización que penetra ligeramente a partir de las juntas más importantes) y I que corresponde a roca fresca, existen localmente zonas con meteorización de grado III que conservan suficiente resistencia para no ser troceables con la mano, también existen zonas de roca sana, tipo II, envueltas en una masa (menos del 50%) de roca claramente más meteorizada. Estas zonas de grado III corresponden a las de cota más alta de las márgenes y a una serie de bandas coincidentes con discontinuidades ali-

neadas paralelamente a las directrices tectónicas regionales: NNE-SSO y NE-SO. Se desarrollan principalmente en la margen derecha.

En las partes altas de los taludes de la excavación, en los bloques extremos (B-10 del estribo derecho y B-13 y 15 del estribo izquierdo), la roca tiene localmente un grado de meteorización IV (La meteorización se extiende a través de la masa rocosa que puede trocearse a mano, o bien, más de la mitad de la roca está desintegrada y/o descompuesta en forma de suelo, pudiendo presentar zonas de roca sana o ligeramente decolorada formando bloques o núcleos sanos).

La densidad seca de las muestras de sondeos ensayadas es alta (2.550 a 2.620 kg/m<sup>3</sup>) y la absorción de agua baja (0,7 al 1%), lo que da idea de que la poca alteración de la roca.

Durante la ejecución de las obras de excavación se ha reconocido el estado del macizo rocoso, tanto en su naturaleza y estado como en su fracturación. La resistencia de la roca, apreciada "de visu" y con martillo Schmidt, es en casi todos los casos de media a alta según la clasificación de Deere-Miller, es decir, entre 2000 y 600 kg/cm<sup>2</sup>. En los afloramientos de los bloques extremos hay zonas menos resistentes, de tipo medio a bajo con resistencia entre 600 y 200 kg/cm<sup>2</sup>.

La resistencia de la roca medida en probetas muestreadas en el nivel de cimentación, capa 3, varía desde un mínimo de 92,2 kp/cm<sup>2</sup> hasta valores de 900 kp/cm<sup>2</sup>. El valor medio es de 536 kp/cm<sup>2</sup>. Estos valores se corresponden bien con las apreciaciones "de visu".

Los ensayos de carga puntual indican que puede tomarse un valor de la resistencia a compresión de:

$$\sigma_c = 10,5 \cdot I_s$$

Siendo  $I_s$  el índice de carga puntual

La mayor parte de los valores de  $I_s$  se sitúan entre 35 y 60 kp/cm<sup>2</sup> (o sea, una resistencia a compresión equivalente de 350 a 600 kp/cm<sup>2</sup>).

Los ensayos de compresión simple con medida de deformaciones en cinco probetas dan módulos de deformación ( $E_{lab}$ ) entre 90.000 y 200.000 kp/cm<sup>2</sup>. Teniendo en cuenta el índice RQD, el módulo de deformación medio del macizo puede estimarse en 30.000 – 60.000 kp/cm<sup>2</sup>.

Las características de las discontinuidades se han obtenido a partir del estudio de los afloramientos rocosos puestos al descubierto por la excavación en el momento del reconocimiento. Como norma general, las discontinuidades son sub-verticales, de direcciones paralelas a las directrices tectónicas regionales. La continuidad es en general mayor del rango de 2 a 6 m. El espaciado es así mismo generalmente mayor de 0,2 a 0,6 m. Casi siempre se encuentran cerradas y su rugosidad corresponde a un J.R.C. de 4 a 10. El estado de las paredes es casi siempre sano, con tinción de óxidos de hierro.

Estas características generales se dan a título únicamente indicativo de las propiedades medias de las discontinuidades.

La clasificación geomecánica del macizo se ha hecho teniendo en cuenta las discontinuidades medidas en el cimiento de cada bloque, para individualizar el índice de calidad geomecánica por bloques.

El valor del R.M.R. del cimiento de los distintos bloques de la presa se ha obtenido promediando los de las estaciones geomecánicas estudiadas. Para quedar del lado de la seguridad se ha dado mayor peso a las estaciones con peores parámetros geomecánicos. Los valores obtenidos han variado entre 30 y 45.

Estos valores se han tenido en cuenta durante la construcción, a fin de definir los tratamientos de consolidación adecuados para conseguir una calidad de apoyo uniforme y un RMR superior a 40, de forma que la roca de apoyo de la presa fuera de calidad geomecánica media y tuviera un módulo de deformación igual o superior a 5.000 Mpa.

**Cálculo estructural de la presa.**– El cálculo de la presa se ha efectuado mediante la realización de un modelo matemático de elementos finitos, realizado en el Centro de Cálculo de la Fundación Agustín de Betancourt de la E.T.S. de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos de Madrid.

El cálculo se ha realizado con el programa ANSYS y se ha modelizado el conjunto formado por la presa y el terreno mediante una malla de 2414 nudos que descompone la presa en un total de 1710 elementos asignando a cada elemento las características del material que lo constituye. (Figura 13).

Se han considerado los estados de carga simples correspondientes a peso propio, a presión hidrostática con diferentes niveles de agua en el embalse y al efecto térmico debido correspondiente a una variación de temperatura ambiente de +10°C y -8 °C. Estados que se han combinado posteriormente de acuerdo con la práctica habitual en este tipo de estudios.

Los resultados obtenidos, correspondientes a tensiones y desplazamientos han resultado en todos los casos adecuados para el tipo de estructura considerado. (Figura 14).

**Estudio del desvío del río.**– En el Anteproyecto el desvío del río estaba previsto en la margen derecha aprovechando la plataforma existente en el cauce, la posterior modificación del eje de la presa junto las características topográficas del terreno así como las condiciones de circulación del agua obligaron a reconsiderar el diseño de las obras de desvío y trasladarlas a la margen izquierda, incorporandolo en el bloque n° 3.

El caudal de diseño 208 m<sup>3</sup>/s corresponde a un periodo de retorno de 10 años.

El desvío del río consta de una ataguía coronada a la cota 102 que permite el cierre del cauce, un canal de desvío por el que discurrirán los caudales durante la ejecución de las obras y una contraataguía, para impedir el retorno del agua al recinto de las obras, coronada a la cota 101.

El canal de desvío esta constituido por seis tramos de diferentes características:

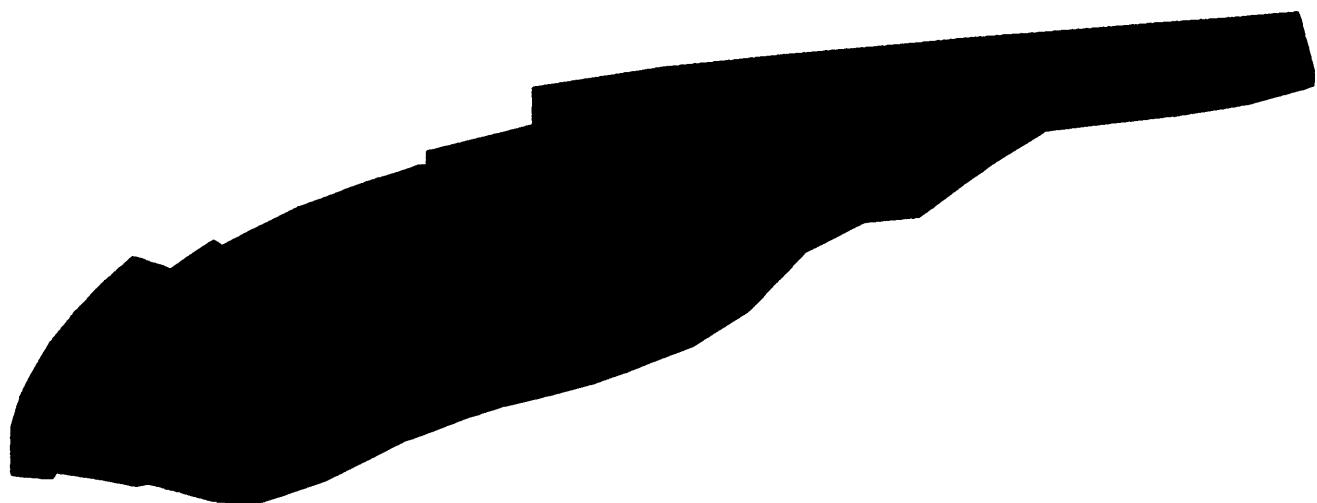
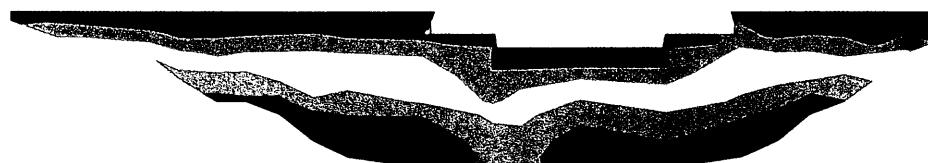


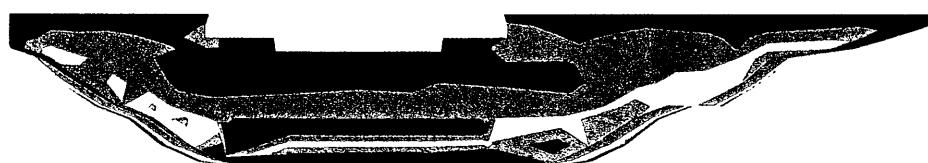
Figura 13.

P. PROPIO + E. HIDROSTATICO (N.N.)  
Tension vertical



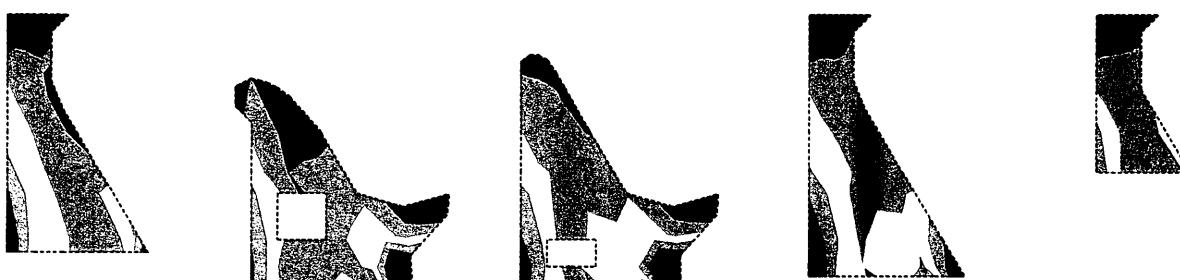
PLOT NO.	19
	-113.196
	-100.339
	-87.483
	-74.626
	-61.77
	-48.913
	-36.057
	-23.2
	-10.344
	2.513

Vista desde aguas arriba



M. Elast. Terreno  
500.000 T/m<sup>2</sup>

Vista desde aguas abajo



Secciones segun los bloques 6, 1, 3, 5 y 9

Figura 14.

- ▼ Tramo 1, corresponde a la embocadura, su sección es variable, semitrapecial con cajero vertical de hormigón en la parte del río y con escollera inclinada en la parte de terreno con ancho en base variable de 11 a 9 metros
- ▼ Tramo 2, corresponde al encauzamiento hasta el azud de sección rectangular abierta de base variable entre 9 y 7 metros
- ▼ Tramo 3, corresponde a un azud de creación de velocidad, lo que permite reducir la sección necesaria para el paso del agua
- ▼ Tramo 4, entre el azud y la presa, de sección rectangular de 6 metros de base esta constituido por un canal abierto en sus 7,40 primeros metros y por un marco unicelular en los 8 metros restantes.
- ▼ Tramo 5, corresponde al paso por el interior de la presa, es continuación del marco anterior con una sección de 6 x 4 m
- ▼ Tramo 6, de características análogas al tramo 4 corresponde a la reincorporación de las aguas al cauce del río, su longitud es de 40 metros aproximadamente y en su primera parte es de sección cerrada y abierta en su parte final

El conjunto del desvío se ha proyectado con una pendiente uniforme del 8,85 %.

**Modelo reducido.**- El diseño de los aliviaderos presentado en el Proyecto de licitación ha sido sometido a un ensayo en modelo reducido para validar las hipótesis del proyecto y las formas adoptadas.

El ensayo ha sido realizado en el laboratorio de Iberdrola situado en la presa de Ricobayo, laboratorio de amplia experiencia en este tipo de ensayos.

Si bien el caudal de diseño de la presa estaba previsto fuese el de la avenida de 500 años, con el fin de respetar los criterios de diseño recogidos en el Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses se solicitó del Laboratorio la realización de ensayos con el caudal punta de la avenida de 1.000 años.

Los primeros ensayos pusieron en evidencia que la colocación asimétrica del aliviadero con respecto al eje del río aguas arriba de la presa, debida al cambio de emplazamiento, y giro del eje de la presa, influye notablemente en el sistema de aproximación del agua al aliviadero y origina anomalías en el régimen de funcionamiento del conjunto del aliviadero.

Tras diversos tanteos se definió una geometría para las pilas de mayor complejidad que las previstas en el Proyecto vigente que reduce notablemente dicha incidencia y uniformiza el flujo del agua sobre el vertedero pese a la existencia de aliviaderos con labio a diferentes cotas, necesarios en esta presa para mejorar el desagüe de los caudales de avenida reduciendo mediante el uso de compuertas la cota de inundación, en el flujo de agua sobre el paramento de aguas abajo de la presa.

El análisis del reintegro de los caudales al río y la posibilidad de conseguir una dispersión de la zona de impacto provo-

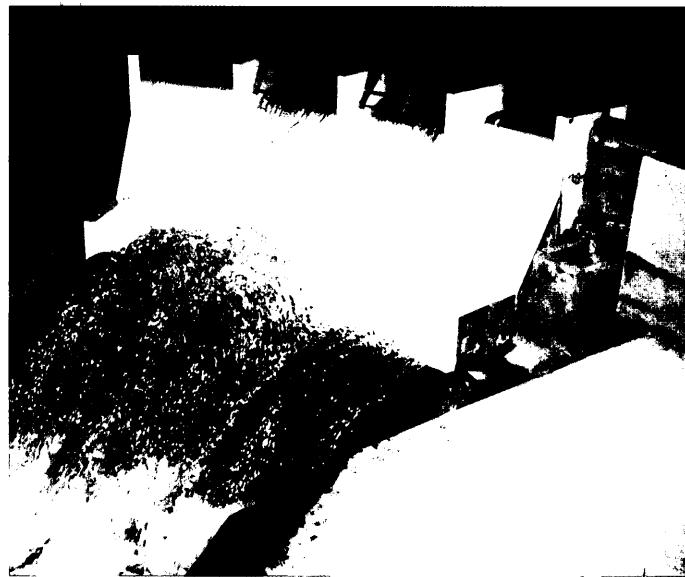


Figura 15.

có la adopción de nuevas formas para los trampolines de lanzamiento.

Si bien el funcionamiento previsto en el Proyecto de licitación estaba dentro de las normas habituales en este tipo de estructuras las mejoras conseguidas aconsejaron la adopción de las formas experimentadas. (Figura 15).

## DOCUMENTACIÓN GEOTÉCNICA

- Registros de sondeos del "Proyecto de abastecimiento de agua a la Mancomunidad del Río Umia (Pontevedra)". Herring, S.A. 1973. tomados del ANEXO 5: Estudio geológico y geotécnico.
- "Embalse de Caldas de Reyes". Dirección de Obras Hidráulicas. Servicio Geológico. MOPU. 1983. ESTUDIO. Ref/cronológica: 03/87.
- ANEJO N° 3 del Anteproyecto de la presa de Caldas de Reis. SEGURPRESA, Diciembre 1993.
- Estudio Geológico-geotécnico del futuro embalse de Caldas de Reis. Informe realizado por CESECO en Diciembre de 1997, a petición de las empresas concursantes.
- Análisis Geológico-geotécnico de la cerrada de Caldas de Reyes (Pontevedra) INTECSA, Diciembre 1997.
- Informe comparativo de dos cerradas en el Río Umia para la Presa de Caldas de Reis. INTECSA-GEOCISA, Junio 1998.
- Informes sobre las obras de la Presa de Caldas de Reis de F. Mendaña y C. Oteo. Agosto 98, Diciembre 98, Febrero 99, Febrero - Marzo 99, Marzo- Abril 99 y Mayo - Junio 99.
- Nota técnica sobre la falla detectada en el fondo de la excavación bajo el bloque B2. Octubre 1998. INTECSA
- ANEJO N° 4 del Proyecto modificado de la presa de Caldas de Reis. INTECSA, Abril 1999. ■