

LUCIANO YORDI. SU APORTACION A LA INGENIERIA DE LAS PRESAS ARCO

Conferencia en la IV JORNADA ANUAL DE SPANCOLD. Madrid
12/2/2014

En un artículo publicado en la Revista de Obras Públicas en 1956 por Luciano Yordi, ingeniero de caminos y que posteriormente fue subdirector de FENOSA y vocal del CEGP, reproduce unas palabras de Juan Manuel Zafra pronunciadas en una conferencia en 1912 relativa a grandes embalses :

“ Para muchos apegados a lo añejo, el hormigón armado prosigue siendo, como en los primeros días, una resultante de empirismo y audacia, un arma de dos filos imposible de manejar sin herirse; sus maravillosos éxitos, efecto de pura casualidad; sus grandes fracasos, debidos exclusivamente a sus condiciones intrínsecas. Para muchos también, poco osados, Y EL INGENIERO NECESITA SIEMPRE SER OSADO, LO QUE NO IMPLICA IMPRUDENCIA Y MENOS TEMERIDAD, los muros de embalse de sesenta a ochenta y cien metros, ya construidos algunos, son obras de verdaderos temerarios, ejemplos que terminantemente deben ser proscritos”.

La frase EL INGENIERO NECESITA SIEMPRE SER OSADO, LO QUE NO IMPLICA IMPRUDENCIA Y MENOS TEMERIDAD se la he oído a Luciano Yordi en muchas ocasiones y de alguna forma la aplico en los años cincuenta del pasado siglo, cuando se enfrentó al proyecto de una presa , que hoy en día no plantearía dudas de que la tipología de presa arco era la mas adecuada, pero en aquellos años la habían proyectado como una presa de

gravedad. En España, en los años cuarenta y cincuenta, la mayoría de las presas que se proyectaban eran de gravedad.

PRESA DEL EUME

Hacia 1954 o 1955 se encuentra Luciano Yordi (Chano) con un proyecto de presa de gravedad en el río Eume, incluida en el aprovechamiento hidroeléctrico del mismo nombre y del que era concesionaria FENOSA, así como con un informe de la Asesoría Geológica del Ministerio de Obras Públicas sobre el emplazamiento de esta presa que dice:

“...Las condiciones del terreno, cuyas características han sido descritas en párrafos anteriores, las consideramos en su conjunto favorables y creemos que permitirán la construcción de la presa y aun podríamos añadir que es esta ubicación apta para recibir una presa tipo bóveda, solución que dadas las circunstancias topográficas del caso, encerraría sin duda considerables ventajas económicas que, desde un punto de vista nacional, no pueden desatenderse cuando se trata de obras de gran envergadura”.

Para un ingeniero osado, que no imprudente y mucho menos temerario, como era Chano, y partiendo de la base de que los estudios realizados en la cerrada y los avances tecnológicos tanto en proyecto como en construcción permitían ir a obras tanto o más seguras y más económicas que las presas de gravedad, siendo este segundo objetivo fundamental, asumió el reto de proyectar una presa arco en el Eume.

Lo primero que hizo fue estudiar presas arco existentes, y entre ellas las italianas de los ingenieros Semenza y Tonini, y las

francesas de Andre Coyne. También tuvo en cuenta las presas portuguesas, donde Coyne había trabajado y de alguna manera creado escuela, fundamentalmente a través del LNEC de Lisboa, en el que Manuel Rocha era el director y Joaquin Laginha jefe del servicio de presas.

Un problema que presentaban las presas arco en los años cincuenta del pasado siglo era la dificultad de comprobar su comportamiento mediante un cálculo en régimen elástico. El planteamiento teórico era conocido pero el cálculo prácticamente inabordable.

Tanto el Bureau of Reclamation en USA como el ingeniero Stucky en Suiza habían iniciado el desarrollo de un método de cálculo en el que se descompone la estructura en arcos y mensulas y se reparten las cargas entre ellos de tal forma que los desplazamientos en los puntos de cruce sean los mismos. Este método es el conocido como “Trial Load” que se empleó mucho cuando se dispuso de ordenadores, antes de que se impusieran los elementos finitos.

De todas formas, la complejidad de los cálculos desarrollados por estos métodos con las calculadoras en uso en aquella época, hacía que, cuando la estructura estaba totalmente definida, únicamente en algunas ocasiones se hiciera una comprobación con el Trial Load.

En general el cálculo se realizaba como arcos horizontales independientes, y finalmente se comprobaba en un modelo físico reducido.

Las presas arco de hormigón vibrado se construían y construyen por bloques verticales. La única consideración que se tenía en cuenta en relación con la forma de estos bloques o mensulas era

que fueran estables ante su peso propio, para poder construirlos sin mayores problemas.

En la presa del Eume , constituida por arcos circulares horizontales, Chano introdujo la novedad, como ya se había hecho en algunas presas fuera de España, de darle a la mensula central una curvatura vertical, con el fin de crear un estado de precompresion en su zona baja de aguas arriba que contrarrestara las tracciones provocadas por la presión hidrostática.

Así, a pesar de que la estimacion de la carga hidrostática soportada por las mensulas se hizo de una forma simplista,, la única prácticamente posible en aquellos días, basándose en experiencias existentes y en algunos modelos reducidos adopto, en parte intuitivamente, la forma de la mensula central que puede verse en las figuras.

Tengase en cuenta que se comprobaba el comportamiento de la presa por arcos independientes y además se asumía una reserva de capacidad resistente importante (de seguridad) con la colaboración e unos arcos con otros en sentido vertical.

Una vez hecho el primer encaje y comprobación por arcos independientes de la presa, y utilizando sus propias palabras:

“ Con el proyecto bajo el brazo me presente en el LNEC de Lisboa para pedir su opinión, hacer comprobaciones y ajustar la presa por medio de un modelo reducido”

Otro tema que tuvo en consideración en la presa del Eume fue la importancia de la incidencia de los arcos en la ladera, con el fin de que la dirección de los empujes fuese la adecuada de acuerdo con los condicionantes geotécnicos del macizo deducidos de los informes geológicos realizados y los

reconocimientos a base de sondeos y geofísica que los completaban.

Tengase en cuenta que cuando se proyectó e inició la construcción de la presa del Eume aun no se había producido la rotura de la presa de Malpasset en Francia, que puso de manifiesto la necesidad de conocer bien los macizos rocosos, sus discontinuidades y su capacidad para soportar los empujes de la presa.

En un artículo publicado por Chano en la Revista de Obras Publicas en 1961 dice textualmente :

“Si en un momento determinado, porque los apoyos no son de la misma calidad en todo el contorno, ceden parcialmente, si la presa esta bien encajada, las presiones marchan por caminos indirectos, es decir, las fuerzas interiores se transmiten por las partes mas resistentes de la estructura a las zonas donde la roca presenta mejores condiciones, lo cual corresponde al minimo trabajo de deformación.

En los modelos reducidos de la presa del Eume se vio claramente este efecto en la zona de transito situada en el estribo derecho, entre la pizarra de la parte baja y el granito que constituye el apoyo en la parte alta de la obra. Una hipotética gran deformación de esta zona de transito nunca haría peligrar la estructura.

Esta es la gran seguridad de una presa bóveda bien apoyada en su contorno”.

La curvatura vertical de la presa permitio disponer de un aliviadero libre en coronación, con caída de la lamina de agua en un colchón amortiguador creado por un azud a pie de presa.

El hecho de que el aliviadero necesario fuera de unos $500\text{m}^3/\text{s}$, y dadas las características del río desde el emplazamiento de la presa hasta su desembocadura en la ría de Pontedeume, hacía innecesaria una mayor laminación de las avenidas que la creada por el aliviadero libre. También la calidad de la roca en el cauce permitió ir a esta solución.

PRESA DE BELESAR

El paso siguiente en la evolución de Chano como ingeniero de presas lo dio en la presa de Belesar. Esta presa, que estaba proyectada como una presa de gravedad, la transformo en una presa arco por la misma razón que lo hizo con la presa del Eume, buscando un menor coste de la obra sin reducir, sino aumentando, su seguridad

Aquí, insistiendo en la necesidad de que los empujes de la presa incidieran correctamente en las laderas, adopto arcos de curvatura variable, con mayor radio en arranques que en el centro. Esto lo consiguió con arcos de tres centros, con radios laterales mayores que el central

La curvatura de la mensula central sigue con el mismo criterio que adopto en la presa del Eume, y ante la falta de calidad de la roca en la parte alta de las laderas, opto por sustituir esta roca por estribos de gravedad que con su peso propio dirigen los esfuerzos a las partes bajas de las mismas

El embalse de Belesar tiene una cuenca de unos 4000Km^2 y un caudal de máxima avenida de $4000\text{m}^3/\text{s}$. En el cauce aguas abajo de la presa se encuentran poblaciones importantes como Orense, Ribadavia y otras. Esto aconseja dotar a la presa de

aliviaderos con compuertas con el fin de lograr una mejor laminación de las avenidas. El hecho de la existencia de los estribos de gravedad permitio disponer de dos aliviaderos laterales con capacidad cada uno de ellos de 2000m³/s y con el umbral de aliviadero a distintas cotas uno de otro. Las conducciones de estos aliviaderos hasta el trampolín de lanzamiento constituyen unos verdaderos contrafuertes que garantizan todavía mas la estabilidad de las laderas.

Otro planteamiento nuevo que se presenta en Belesar en relación con el Eume es el incremento de los equipos de auscultación que se instalan en la presa.

Los accidentes ocurridos a finales de los años cincuenta y principios de los sesenta, fundamentalmente el ya citado de la presa de Malpasset en Francia, el de Vaiont en Italia y el de Vega de Tera en España, entre otros, ponen de manifiesto la necesidad de un control permanente de las presas y los macizos en que se apoyan.

Asi, en Belesar se instalan péndulos directos para el control de los desplazamientos horizontales de diversos puntos de una vertical de la estructura en relación con la galería perimetral , multitud de termómetros y extensómetros tipo Carlson que miden las deformaciones en el hormigón. A esto se suman piezómetros y drenes de la cimentación.

Se utilizaban en aquellos días (1960-63) dos tipos principales de extensómetros; los Carlson que miden resistencias eléctricas y son los que aconsejaba el LNEC de Lisboa, y los de cuerda vibrante que miden la frecuencia de vibración de un hilo y eran mas utilizados en Francia por EDF.

Es de destacar la buena calidad de los extensómetros Carlson instalados en Belesar, muchos de los cuales siguen funcionando correctamente después de 50 años, y los que no funcionan correctamente se debe a que se han salido de rango a causa de ciertos problemas expansivos existentes en el hormigón de esta presa , que se manifestaron a los 20 años del comienzo de su explotación. Se puede afirmar que gracias a la información facilitada por los extensómetro se ha podido cuantificar el valor y la evolución de esta expansión.

PRESA DE ALBARELLOS

Esta fue la ultima presa arco en que intervino Chano , y en la que tuve la suerte de colaborar con el como coautor del proyecto y director de la construcción. Aquí ya no estaba en el día a día de la obra, tanto en su fase de proyecto como de construcción, que prácticamente se solaparon, sino que alcanzada su madurez técnica actuaba supervisando los trabajos, y era un verdadero maestro que en general te hacía ver detalles a tener en cuenta que no suelen aparecer en los libros.

La experiencia que había acumulado en las presas de Eume y Belesar la transmitió a quienes estábamos en el día a día de la obra .

La presa de Albarellos tiene un problema geológico en su margen izquierda debido a la presencia de dos fallas, una vertical y otra buzando hacia aguas arriba que limitan el macizo rocoso sobre el que debe apoyarse la presa, ya que la roca situada aguas arriba de la falla inclinada está muy alterada, y la situada aguas abajo de la vertical tiene poca entidad para cimentar sobre ella . La disposición de las fallas hacen que a medida que se baja en cota la distancia horizontal entre ellas se vaya ampliando. Así,

siguiendo el criterio de Belesar se sustituyo la parte alta de la roca por un macizo de gravedad, cimentado a la cota en que la superficie entre fallas era lo suficientemente amplia como para soportarlo. Tambien , siguiendo el mismo criterio, se situo el aliviadero, dotado de compuertas, en el estribo izquierdo, constituyendo su canal de descarga hasta el trampolín de lanzamiento, un verdadero estribo que refuerza de forma notable, la estabilidad del macizo.

Ademas del modelo estructural realizado en el LNEC de Lisboa Se hizo un calculo de la estructura tridimensional por aplicación del “Trial Load”, ya que el desarrollo de los ordenadores a principios de los setenta, aunque incipiente, ya permitía desarrollar estos cálculos con facilidad.

En relación con el calculo estructural, no podemos dejar de mencionar lo que dice en un articulo publicado en la Revista de OP a principios de los años setenta :

“ Mucho se ha escrito en los últimos cincuenta años acerca de los cálculos de tensiones de las presas y cuanto mas lejos se va mas complejos se hacen los análisis por las dificultades de los métodos y matemáticas empleados, lo que tiene, a nuestro entender, el peligro de “perder la cara al toro” o sea que una excesiva complejidad haga ocultar el problema físico real, planteado por la construcción de la presa”.

Muchos años después, a finales de los noventa, Giovanni Lombardi en un articulo referente a los limites del calculo estructural, y haciendo referencia a una inscripción que hay en el Politecnico de Zurich que dice algo asi como “no olvidéis que antes que ingenieros sois personas” comenta que se debería completar con un párrafo similar a este :

“Tampoco debemos olvidar que antes que matemáticos somos ingenieros”.

Pasados 25 años Lombardi refrenda lo que dijo Chano a principios de los setenta.

Esta expresión de no perder la cara al toro es decir, tener siempre presente el problema físico, se la he oído en muchas ocasiones durante los años en que nuestra colaboración fue intensa.

Para analizar la estabilidad del estribo se emplearon métodos de cálculo novedosos en aquellos días, surgidos como consecuencia de los accidentes de presas antes citados, que aconsejaron mejorar todavía más los coeficientes de seguridad por medio de anclajes en roca.

Es de destacar la importancia que se dio en esta presa a los tratamientos de la cimentación en base a inyecciones de lechada de cemento y fundamentalmente a la perforación de multitud de taladros de drenaje, además de la construcción de una galería bajo el estribo izquierdo.

Se instaló un amplio sistema de auscultación, mejorando y modernizando los criterios ya establecidos en la presa de Belesar, a base de péndulos directos e invertidos, extensómetros, termopares, piezómetros, control del drenaje etc.

Lo que se confirma a través de estas presas y de las presas arco repartidas por el mundo es lo que ya dijo Luciano Yordi en 1961: Que si la cimentación responde, y la presa arco está más o menos bien proyectada, siempre resiste. La mayoría de los accidentes que en el mundo ha habido en el caso de presas arco,

se deben a problemas no detectados o tratados inadecuadamente de su cimentación.

ESTETICA

“ Ningun ingeniero tiene derecho a construir una obra fea” .Esta frase, no recuerdo si propia o ya citada anteriormente, la repetia Chano en muchas ocasiones, y la aplicaba a las presas. Pero siempre teniendo presente que un ingeniero debe proyectar y construir la solución optima para el caso concreto de que se trata, y esta solución es la que reuniendo las condiciones de funcionalidad y seguridad exigibles, resulta la mas económica.

En las presas en general y en las arco en particular, predomina la estetica de la verdad, en la que todo lo que la compone tiene una finalidad estructural o hidráulica. Por ejemplo, la continuidad de las funciones matemáticas que definen los arcos y las mensulas, sin puntos de inflexión, lo que les da un aspecto agradable, son una necesidad estructural.

En algunas presa , como Eume y Belesar, coloco Chano algunos elementos decorativos, pero siempre fuera de la presa.

Un tema que se puede mencionar es el disponer una coronación aligerada , como en Belesar, o no usarla, como en Albarellos. La primera emplea menos hormigón y mas encofrado que la segunda. Cuando se construyo Belesar la situación socioeconómica del momento hacia mas económico el reducir hormigón a costa de aumentar encofrado. Cuando se construyo Albarellos la situación habia cambiado , y la solución adoptada, sin aligerar resulto mas económica..

De todas formas, desde un punto e vista estetico, siempre subjetivo, nos parecia mas adecuada la solución sin aligerar, siempre en base a la estética de la verdad

CONCLUSION

Hemos tratado hasta aquí la impronta de Chano Yordi en el desarrollo de las presas arco en España. Además de estas participo en otras presas, la mayoría concesiones de FENOSA, como Barrie de la Maza en el Tambre, presa de gravedad con la que inicio su andadura en estas lides, la presa de bóvedas multiples de Meicende, una de las tres únicas presas de este tipo existentes en España, Salas, presa de contrafuertes , Velle , Castrelo y frieira, presas móviles en el bajo Miño ; Centrales hidroeléctricas, galerias en carga, y ademas otras obras dependientes de sus funciones como Ingeniero Director de Vias y Obras de La Diputacion de La Coruña.

En relacion con la Escuela de Caminos de Madrid, la unica existente en España por aquellos años, la Direccion de la Escuela le ofrecio a Chano en 1962 o 1963 hacerse cargo de la asignatura Obras Hidraulicas, que se impartia en 4º curso. No acepto, y según me conto varios años después, el motivo era que viviendo en la Coruña tendria que desplazarse todas las semanas en tren a Madrid ya que los horarios de los aviones en aquellas fechas eran poco fiables. Lo que es evidente es que tenia su vida organizada en la Coruña y no podía o no queria trasladarse a Madrid.

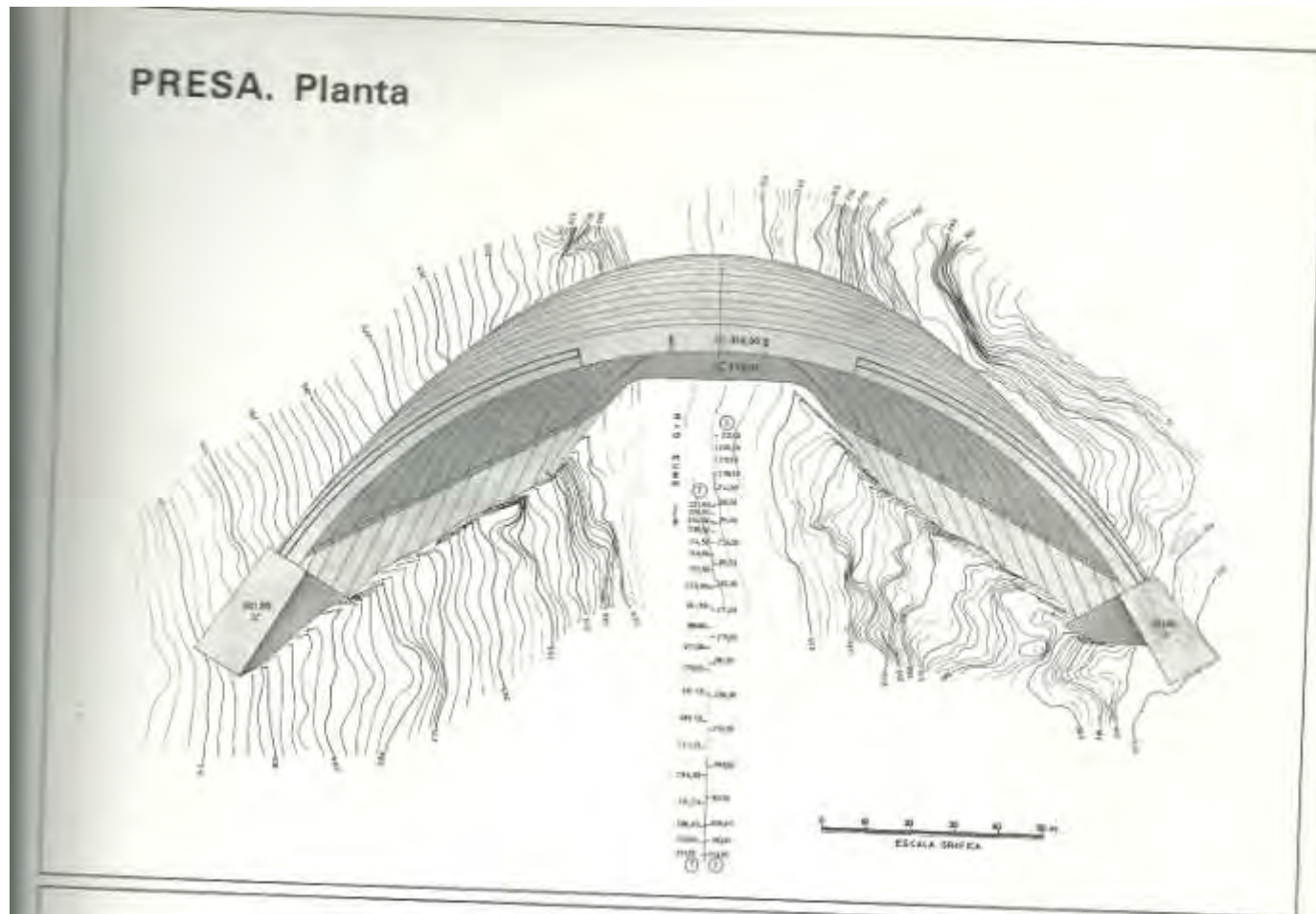
Tambien realizo los anteproyectos del Aeropuerto de Alvedro y de la refinería de petróleos de esta ciudad y fundo Emesa, empresa de calderería y de fabricación de acero para pretensado.

Pero no vamos a entrar en estos temas.. Estamos en la Jornada del Comité Español de Grandes Presas, y lo mas importante es destacar la gran y creativa actividad que desarrollo en las presas arco, y que merece ser recordada y tenida en cuenta por los ingenieros que nos dedicamos a las presas. Se puede decir que Chano fue uno de los que abrió el camino, primero con el Eume y después con Belesar, a las presas arco en su concepción moderna en España.

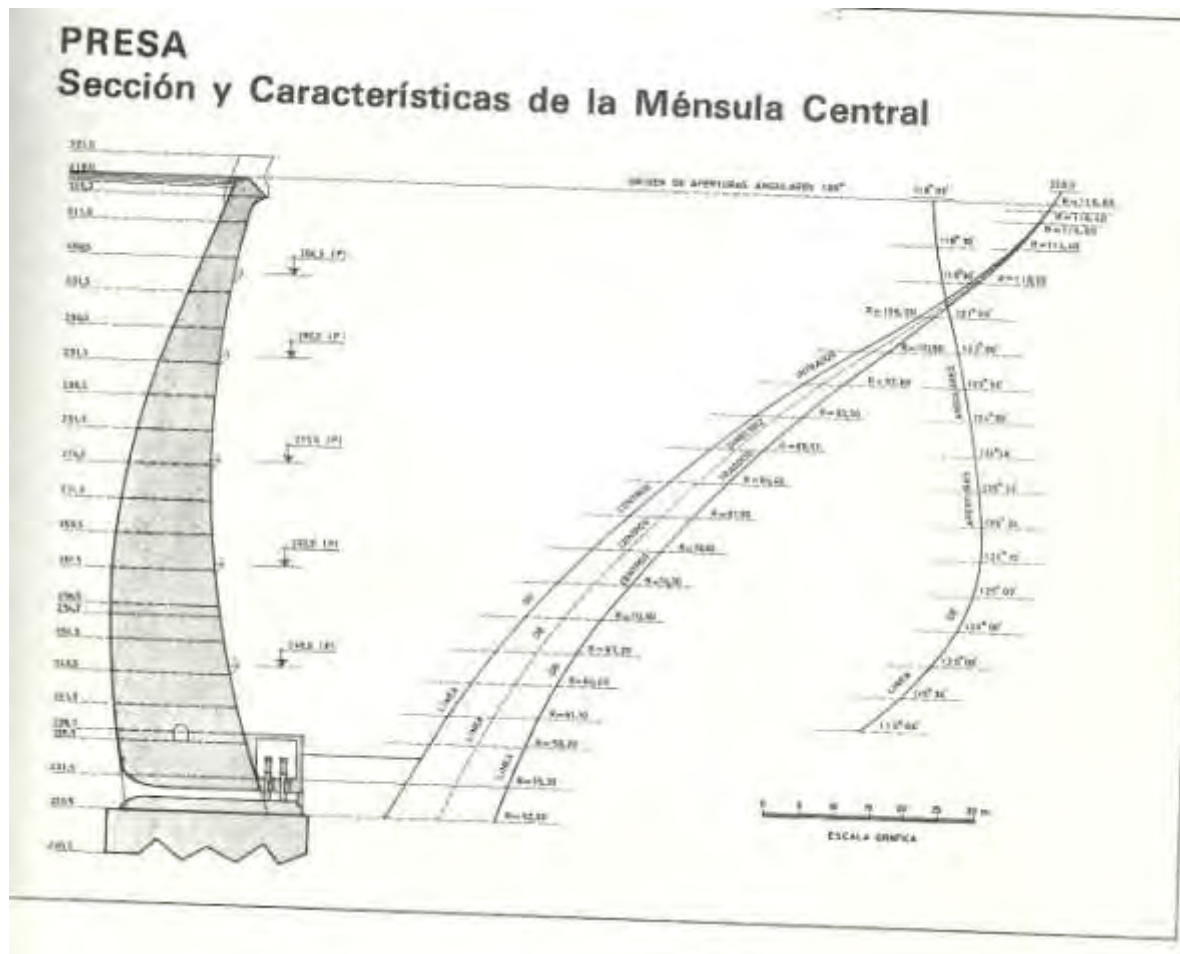
LUCIANO YORDI. SU APORTACION A LA INGENIERIA DE PRESAS

FEBRERO 2014

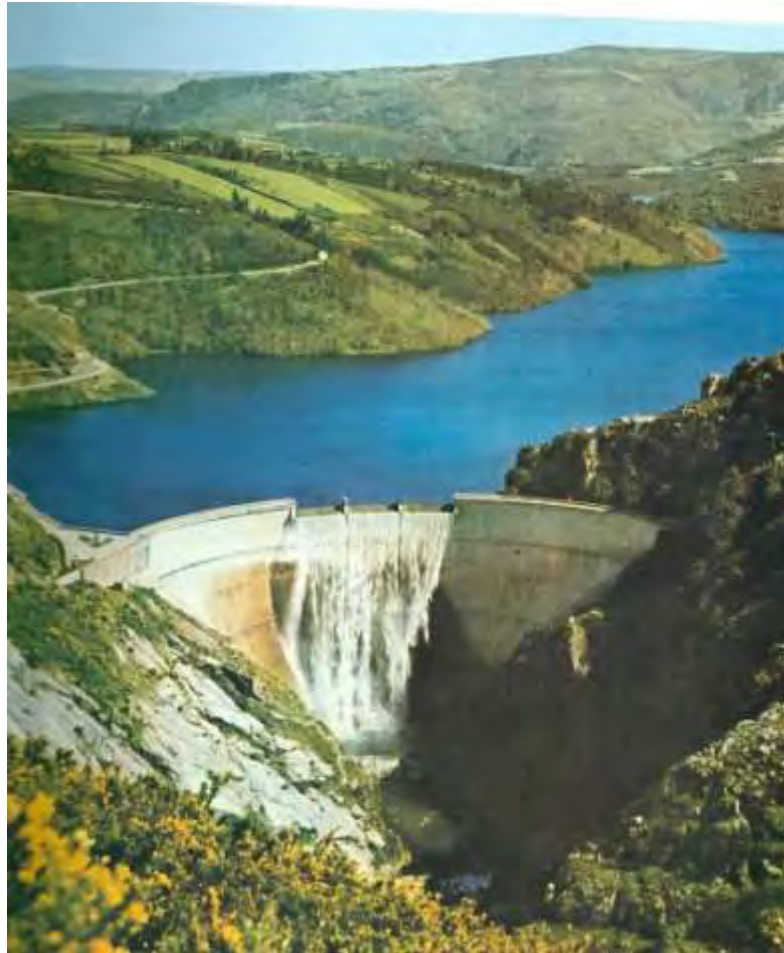
PRESA DEL EUME



PRESA DEL EUME



PRESA DEL EUME



PRESA SEL EUME

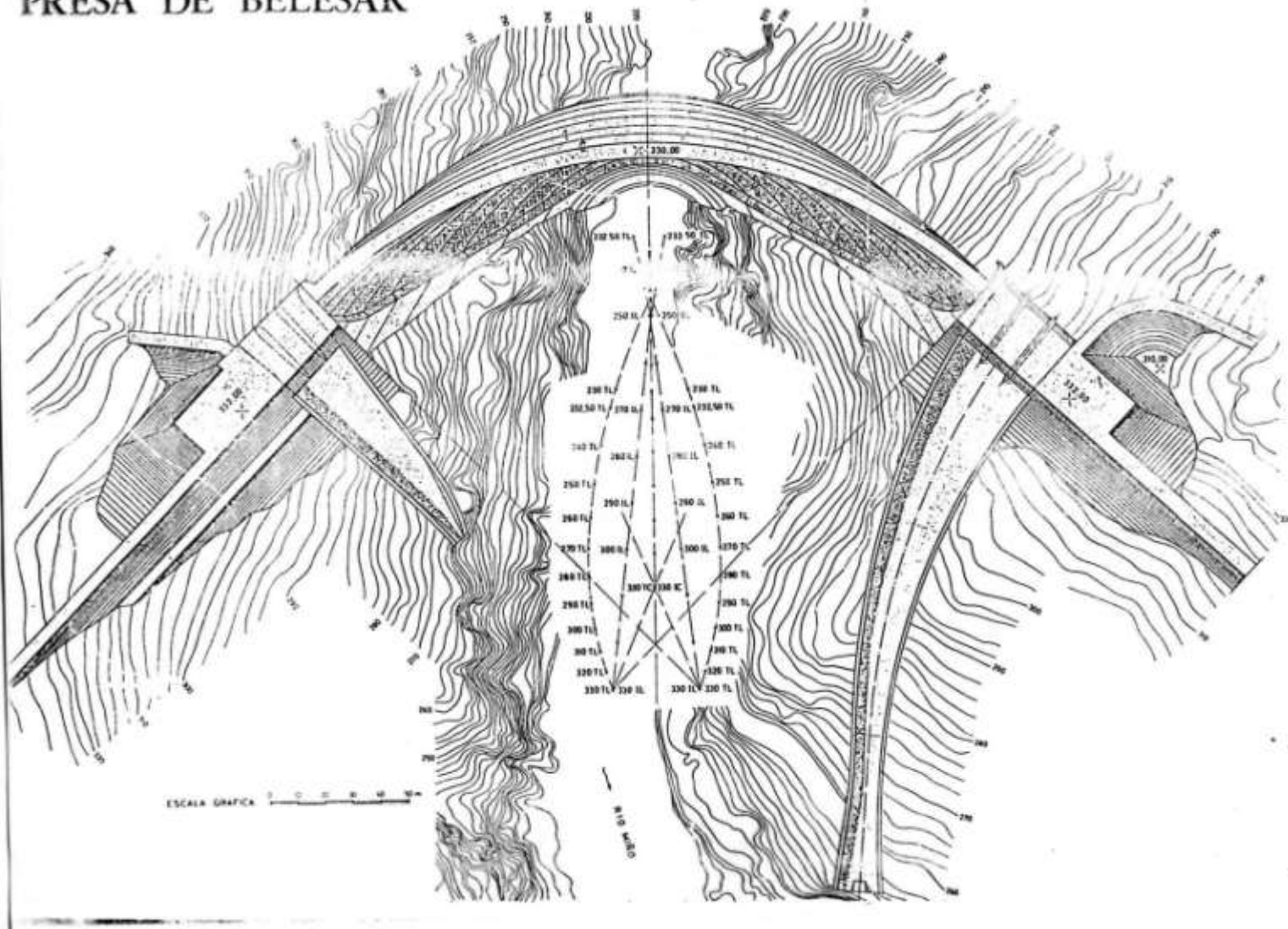


PRESA DEL EUME



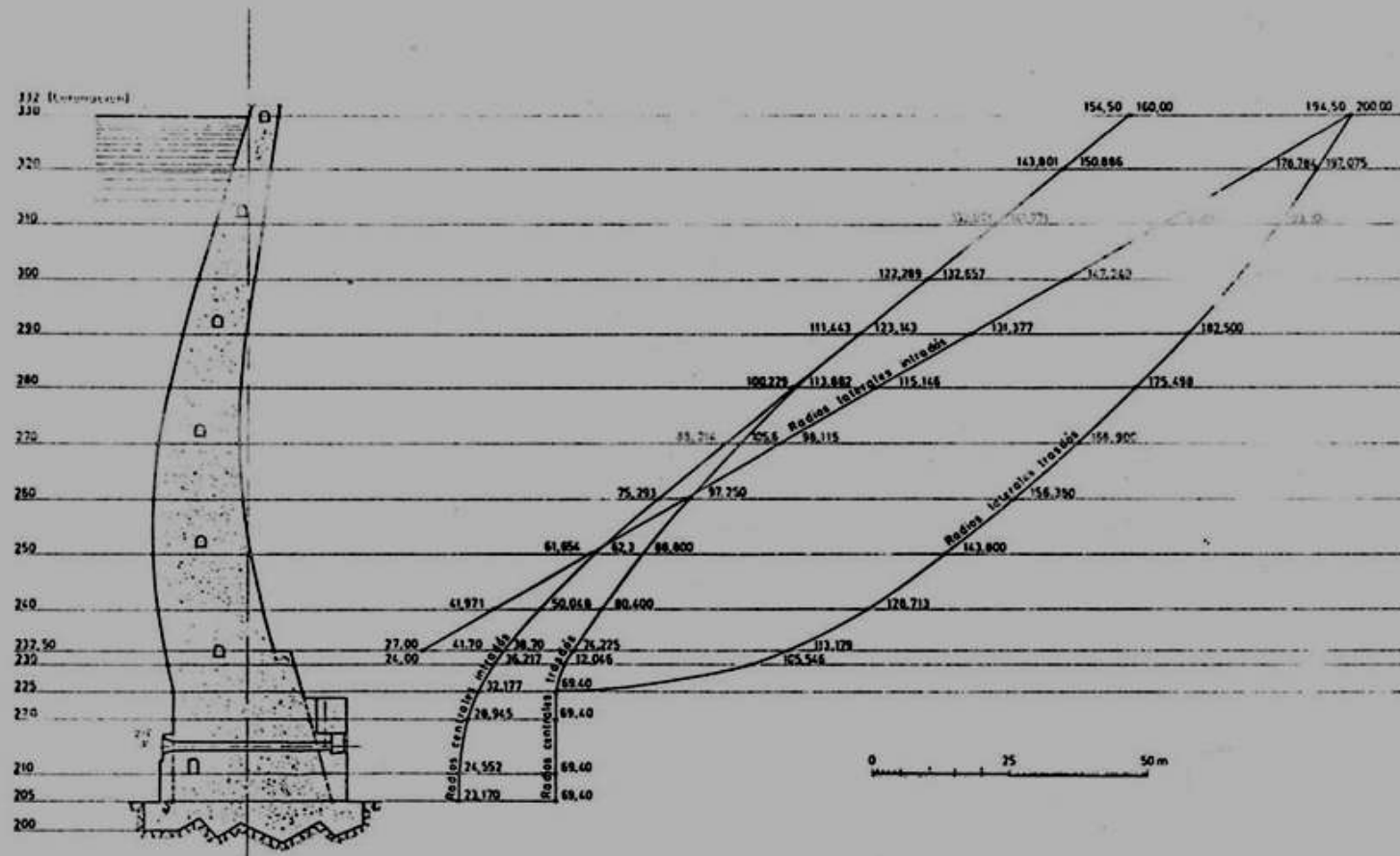
Presa de Belesar Planta

PRESA DE BELESAR



Presa de Belesar Seccion

PRESA DE BELESAR



PRESA DE BELESAR



PRESA DE BELESAR



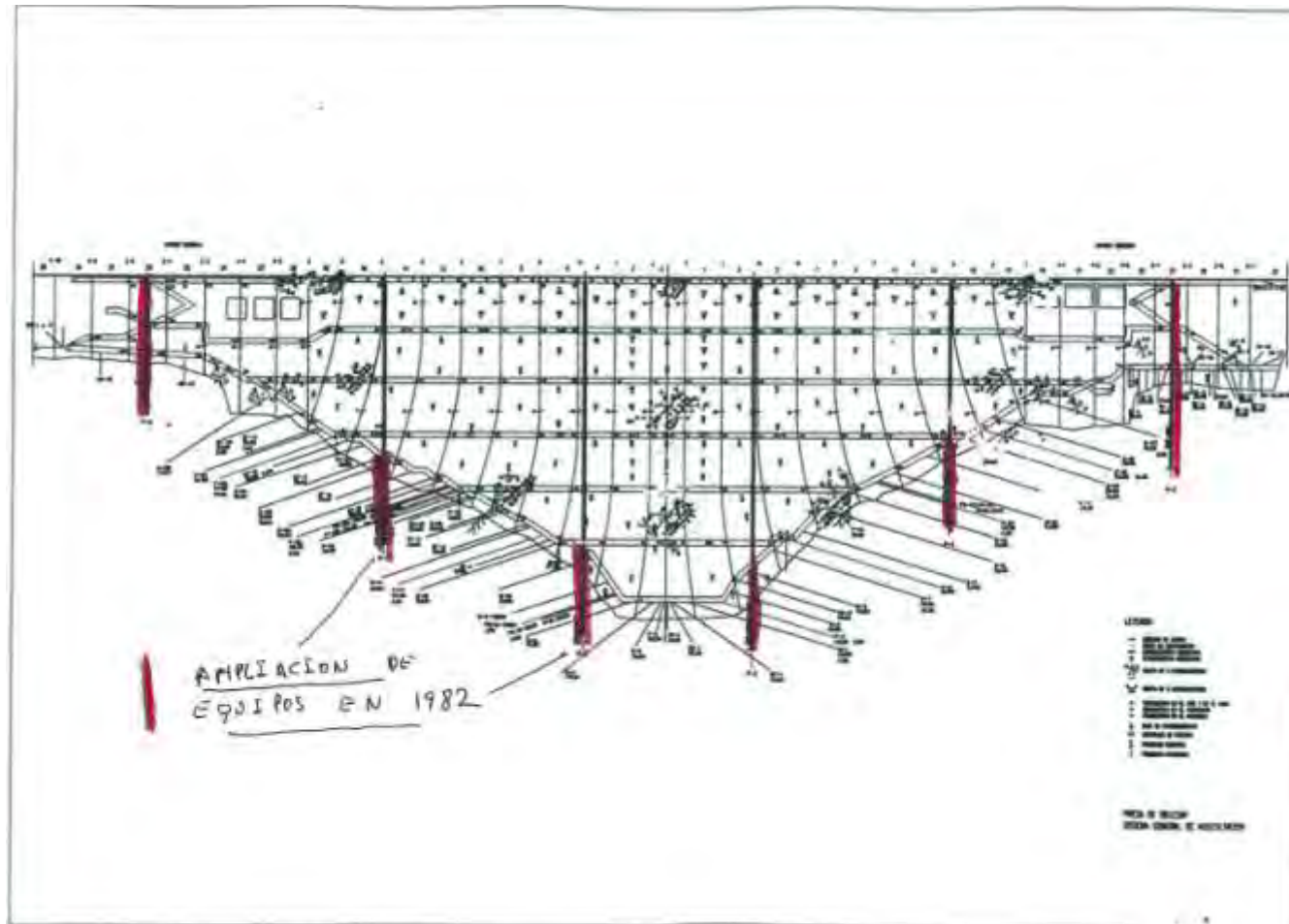
PRESA DE BELESAR



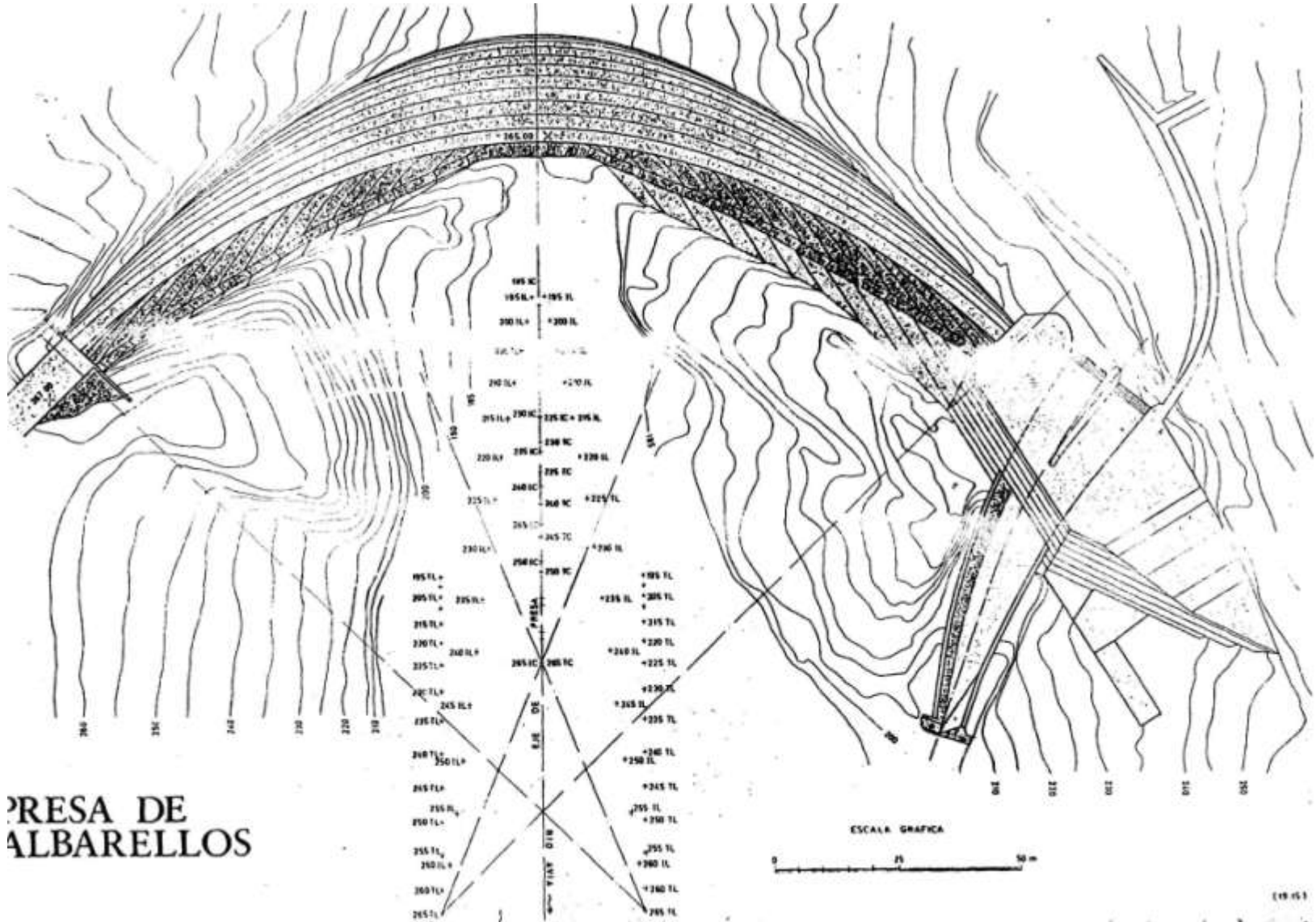
PRESA DE BELESAR



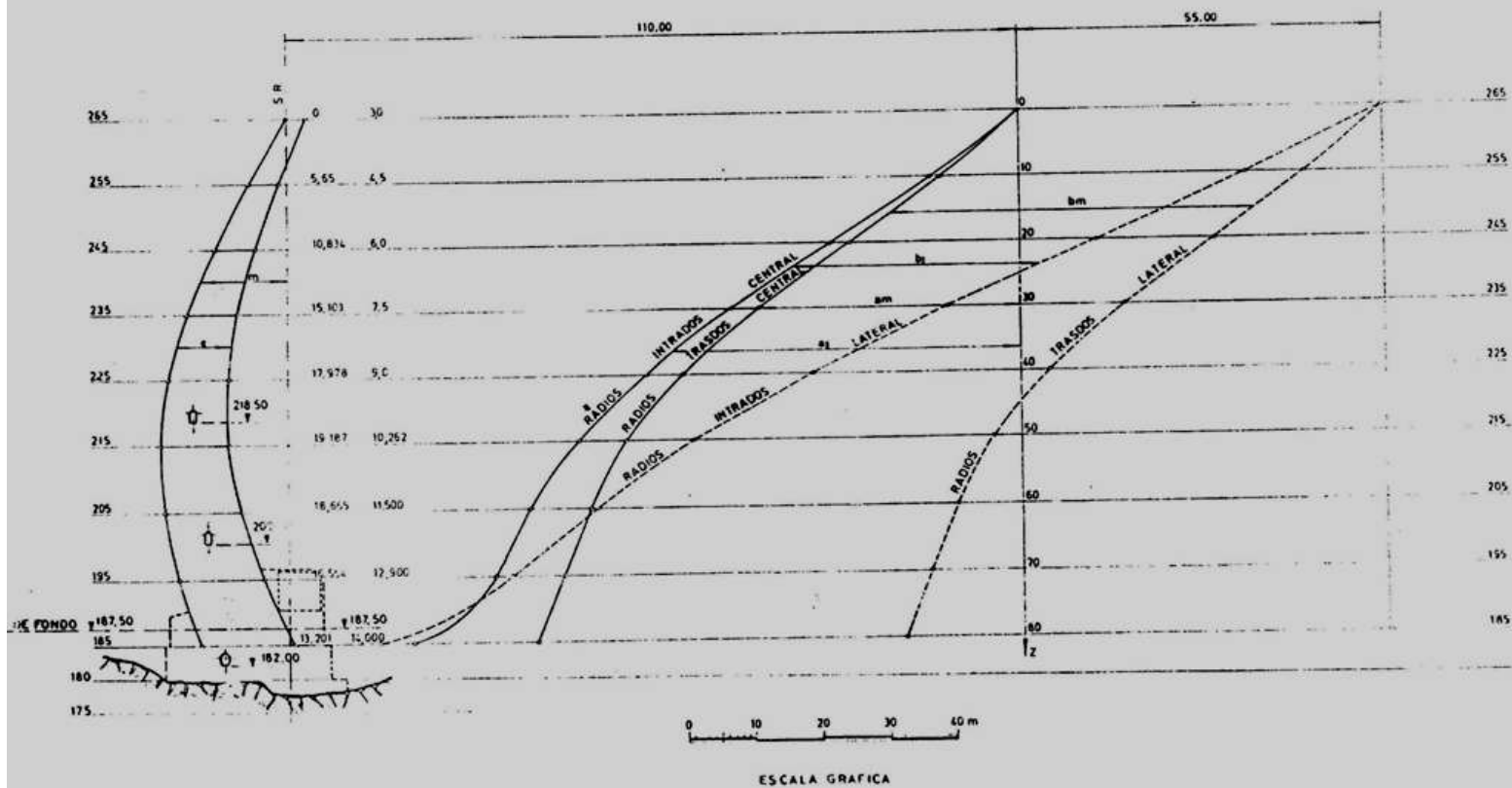
PRESA DE BELESAR. EQUIPOS DE AUSCULTACION



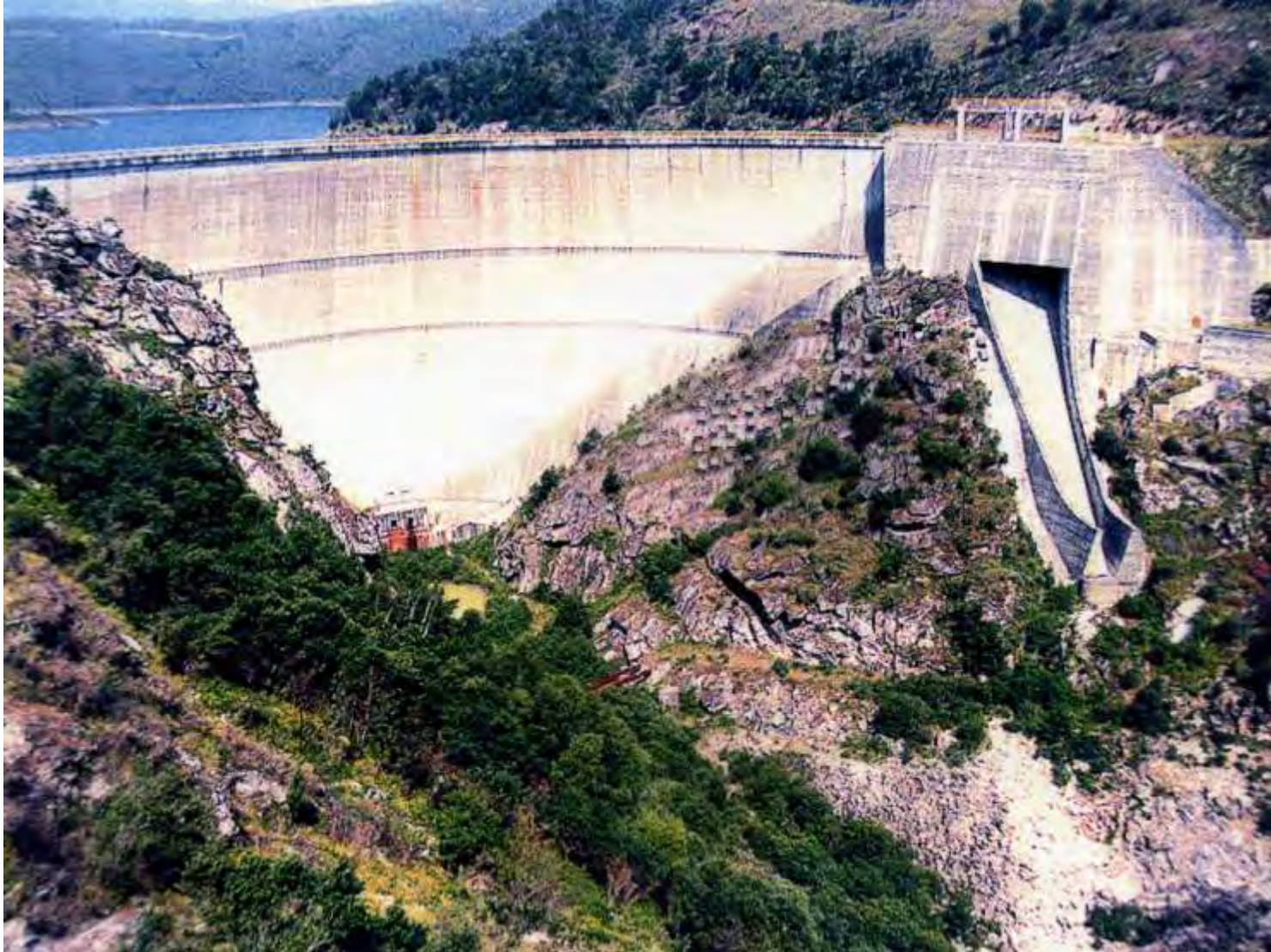
Presa de Albarelos planta



PRESA DE ALBARELLOS



Presa de Albarelos



Presa de Albarelos

FUERZAS
ELECTRICAS
DEL
NOROESTE

A
L
B
A
R
E
L
L
O
S

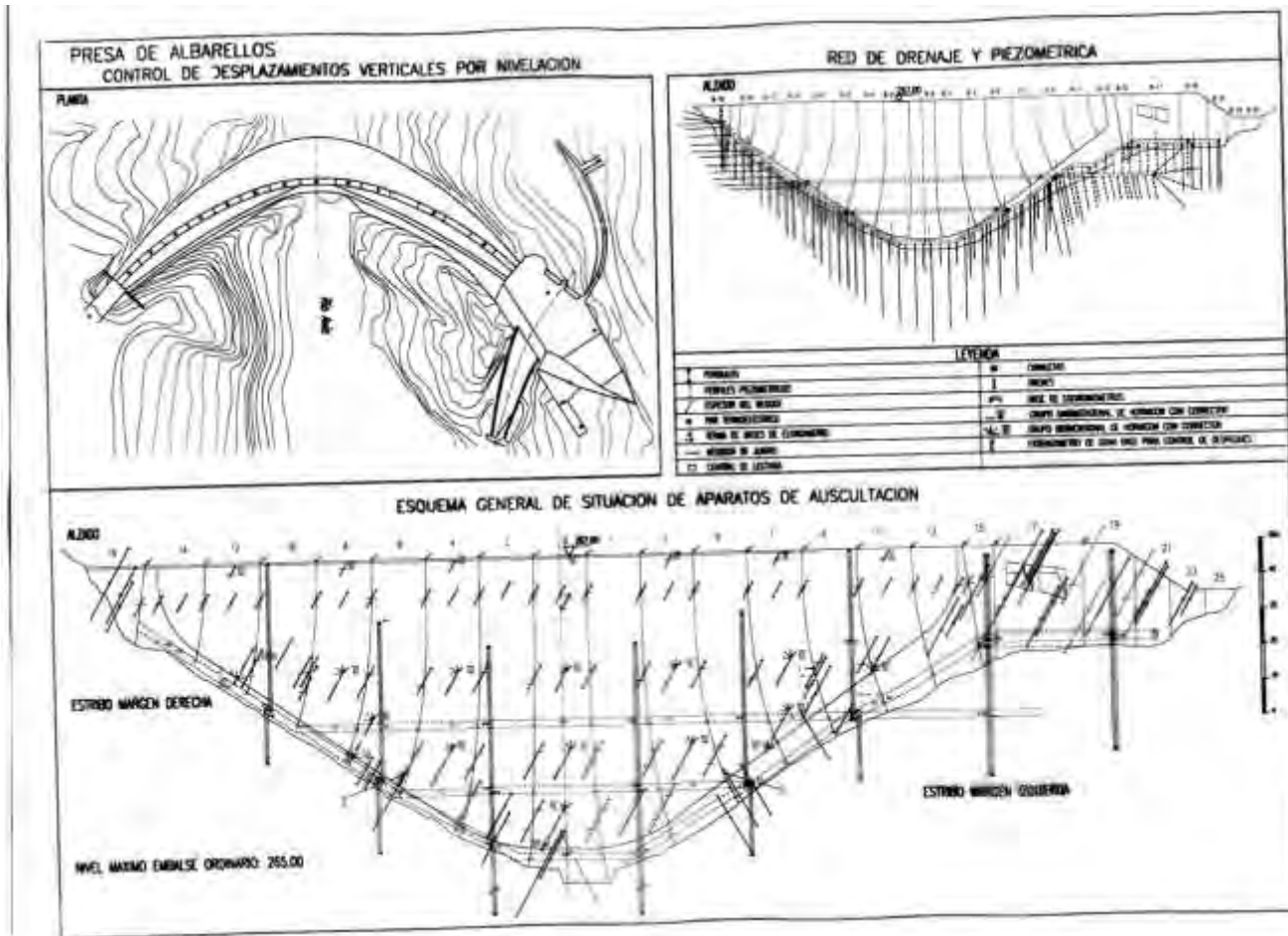
1972



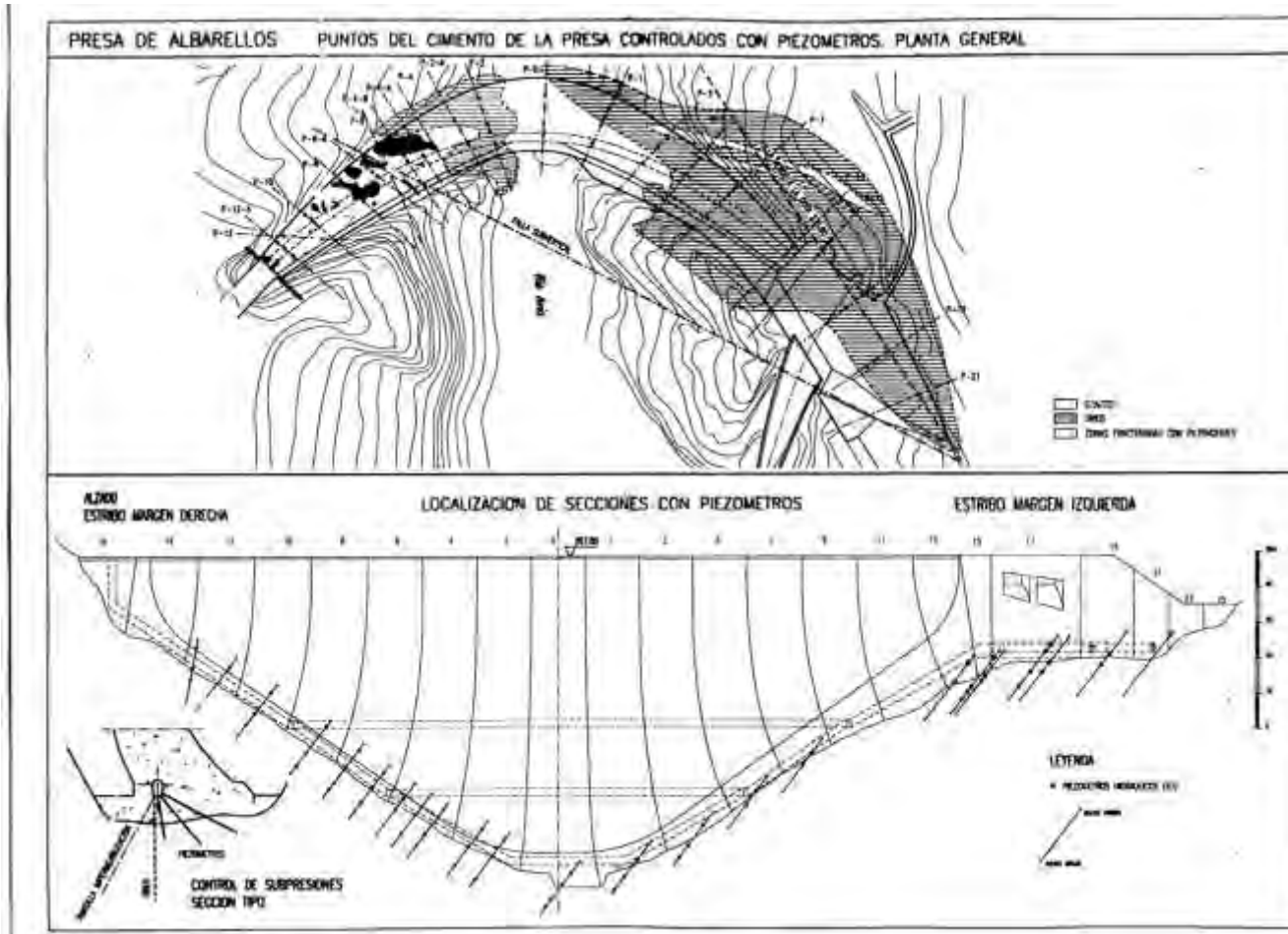
PRESA DE ALBARELLOS



PRESA DE ALBARELLOS. EQUIPOS DE AUSCULTACION



PRESA DE ALBARELLOS . EQUIPOS DE AUSCULTACION



PRESA DE ALBARELLOS



PRESA DE ALBARELLOS



PRESA DEL EUME



PRESA DE BELESAR



PRESA DE BELESAR



PRESA DE ALBARELLOS

