

ministrativo, y que se reflejaban desfavorablemente en la enseñanza.

Contra ellas me revolvía en mi instancia, diciendo que las clasificaciones, notaciones y numeraciones eran impropias, y en cierto modo hasta humillantes, cuando á los alumnos se les trata no como á niños, sino como á hombres, que es lo conveniente y educativo en la enseñanza superior, pues dichos modos de estímulo sólo sirven para establecer prejuicios y fomentar rivalidades nocivas y vanidades pueriles, como ocurre también con la existencia, que la reforma evita, de alumnos de dos clases, unos internos y libres otros, con derechos distintos, y decía después que lo serio es que en la enseñanza no exista más estímulo que el muy noble de la satisfacción íntima que ocasiona el ir posesionándose de las verdades de la ciencia, ni otra sanción que la de aprobado ó desaprobado, y como los estudiantes saben, dentro de este nuevo régimen, que á medida que los cursos avanzan no conquistan posiciones, sino armas para luchar con ventaja en la vida, tienen interés, no sólo en aprobar los cursos, como ahora, sino más principalmente en adquirir conocimientos útiles.

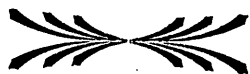
Este es el alcance pedagógico de la reforma hecha y en el que no se ha fijado, por ofuscación incomprensible, persona de su cultura é inteligencia, y en cambio dedica la mayor parte de su artículo á defender una reforma de escaso interés, de las introducidas en el Reglamento de 1910, y que, ensayada durante cuatro años, fué suprimida en el de 1914 por su mal resultado. Consistía el ensayo en considerar el curso preparatorio de la Escuela como una esclusa de compuerta algo amplia á la entrada y más estrecha á la salida, para hacer en este curso la selección fundamental de los alumnos. Se acumulaban de este modo en él los aprobados en cada convocatoria más los remanentes de dos y hasta de tres anteriores. Así el número total de los alumnos del preparatorio llegaba á un centenar, lo que ya constituye una dificultad, por no estar preparado el edificio de la Escuela de Caminos para cursos tan numerosos, que no han de mantenerse en los cinco restantes de la carrera. El sedimento de los alumnos menos inteligentes ó aplicados, que la selección hecha en este curso se encarga en definitiva de expulsarlos de la Escuela, se comprobó que era nocivo al orden y disciplina escolar, precisamente en el comienzo de la carrera.

Y lo que también es grave y perjudicial á la juventud: el cruel aviso de su incapacidad para seguir la carrera, se les hace á los cuatro ó cinco años de emprendida, cuando en general es tarde para cambiar el rumbo equivocado. Se corre así el peligro de que, por conmiseración, se abra la compuerta de entrada más de lo debido para evitar los perjuicios y el desaire de la repulsa tardía, como ocurre con esos novios que al fin se casan más por compromiso que por amor, después de unas largas y premiosas relaciones.

No se alarme usted, pues, sin motivo, y tenga la convicción de que con mi propuesta, tan favorablemente acogida por la Junta de Profesores y el Consejo de Obras públicas se tiende á dignificar más el régimen de enseñanza en nuestra Escuela y á regular de modo más conveniente y justo el ingreso en ella y en el escalafón del Estado.

Me reitero de usted afectísimo amigo y seguro servidor,
q. e. s. m.,

VICENTE MACHINBARRENA.



PROYECTO

DE

Presa de contrafuertes de 90 metros de altura.

Nota presentada al Congreso de las Ciencias de Sevilla por
D. Altonso Peña Boeuf, Ingeniero de Caminos, Canales
y Puertos.

El creciente desarrollo de las obras hidráulicas, ya destinadas á riego ó empleadas en la producción de energía, aumenta progresivamente la importancia de los embalses; en unos casos represando el líquido elemento para almacenarle, en otros produciendo el desnivel necesario y en todos fiando la enorme energía potencial á la resistencia de las presas, con alturas cada vez mayores.

Las elevaciones de 40 y 50 metros, á que corresponden las principales presas construídas en Europa, representan ya cifras moderadas en relación con las de Roosevelt, New-Croton y Shoshone, de 84, 90 y 92 metros, respectivamente, construídas recientemente en América del Norte, á las que únicamente puede compararse en nuestro continente la del embalse de San Antonio (aun no terminada completamente), que producirá un escalón de 82 metros en las aguas del río Noguera-Pallaresa.

Prescindiendo de casos especiales, como el de la última de las presas americanas citadas—verdadera presa bóveda, establecida entre estribos muy próximos—, en los demás casos es el perfil de triángulo rectángulo que impera.

A los aumentos de elevación corresponden otros en el volumen, según una ley de crecimiento más rápida aún que los cuadrados de las alturas, llegando de este modo á cubos de fábrica que arrojan cifras fabulosas, cuando se aproxima al centenar de metros en el embalse.

Encaminados á la reducción de masa, desde el año 1902 se hicieron ensayos en los Estados Unidos, construyendo presas de hormigón armado, compuestas por contrafuertes de forma triangular, unidos aguas arriba por una pantalla plana con juntas de asfalto, estructura modificada por el ilustre Profesor de la Escuela de Caminos, D. Juan Manuel de Zafra, en su conferencia pronunciada en el Instituto de Ingenieros Civiles, proponiendo la sustitución de la pantalla en forma de bóveda.

Muy pocas son las presas que en Europa se han construído con ese material, todas de poca altura, entre las que puede citarse la del salto de Sélune, de 15 metros, ejecutada últimamente en Francia, única de este tipo en dicha nación, no siendo tampoco numerosas las que se han hecho en América y sin llegar á alturas de 50 metros. Al encargarnos de redactar un proyecto de presa con 90 metros de elevación nos fué aconsejado como poco prudente el empleo exclusivo del hormigón armado, duplicando casi de un golpe la mayor cifra alcanzada con dicho material, para emplearla en un país, como el nuestro, en que aun no había sido siquiera ensayado en ese género de construcciones. Con ese juicio hicimos el proyecto de la estructura descrita á continuación, que podría tener como originalidad la de representar un elemento de transición.

Descripción de la presa.

En el río Duero, después de atravesar el lugar denominado El Piélagos, en el que la anchura de la corriente líquida excede de 240 metros, y allí donde los avances montañosos de las már-

genes estrechan su cauce hasta una octava parte, al pie de la ciudad de Fermoselle, es donde se ha ubicado en proyecto la presa.

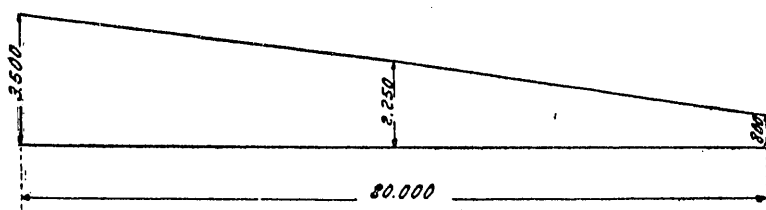
Un basamento, de mampostería hidráulica, enrasando en altura con la lámina líquida del río en estiaje, que alcanza un caudal de 10 metros y descansando sobre la formación granítica del valle, cuyas rocas compactas proporcionan excelente cimiento, constituye la parte inferior ó zócalo de la presa; aligerado este macizo por dos grandes tubos de 2,50 metros de diámetro, que

La unión entre esos elementos constructivos se establece, en la parte de aguas arriba, por bóvedas de hormigón en masa, volteadas de uno en otro, con los arranques según la inclinación del lado correspondiente del triángulo y con forma parabólica en su directriz, decreciendo los gruesos, á compás de la altura, según una ley sensiblemente rectilínea.

Paralela á cada bóveda, y cargando sobre ellas en los riñones, se proyecta una pantalla de hormigón armado, variable en grueso

— Ley de variación de espesores en la clave de las bóvedas —

— Escalas { Horizontal : 1:800
Vertical : 1:200

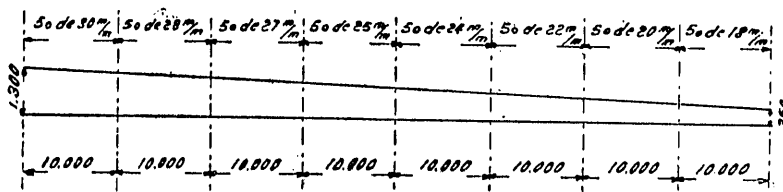


— Ley de variación de espesores y distribución de armaduras en la pantalla de aguas arriba —

Cuántia $q = 0.0027$ —

Armadura simétrica —

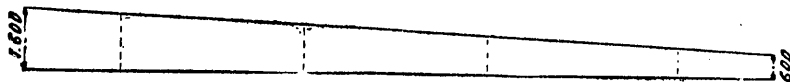
— Escalas { Horizontal : 1:800
Vertical : 1:200



— Ley de variación en la pantalla de aguas abajo —

Armadura constante y simétrica de 50 de 22 m/m per m. l. —

— Escalas { Horizontal : 1:800
Vertical : 1:200



constituyen el aliviadero de fondo y por otros seis de 2 metros, que forman el desagüe de las turbinas, alojadas en el interior de la obra.

Sobre el basamento, en la parte central y fuera de él, sobre los márgenes, se asienta una serie de contrafuertes del mismo material, con una altura máxima de 80 metros y distando 20 entre sus ejes respectivos.

Forma de triángulo isósceles tienen estos contrafuertes, en el sentido de la corriente, y los dos lados iguales constituyen la parte de los paramentos de aguas arriba y abajo de la presa, siendo variable también el grueso en el sentido normal á aquél.

so y en cuantía según las alturas, por secciones calculadas, guardando entre ambos cañones una separación de 1,50 metros.

Doble objeto tiene esa pantalla: en primer lugar, las filtraciones inevitables con tan grandes presiones tendrán lugar á través de la pantalla y quedarán recogidas en el espacio intermedio; por otra parte, si la pantalla no existiera, al vaciarse el embalse las variaciones de temperatura provocarían reacciones de tensión en las bóvedas de hormigón en masa, que acabarían por producir agrietamientos con detrimento grave de la impermeabilidad. De este modo, por su espesor mucho menor y por las armaduras, la pantalla tendrá la facultad de deformarse por las variaciones tér-

micas, resistiendo sus tensiones y protegiendo de su influencia á las bóvedas principales.

Por el lado de aguas abajo y precaviendo los casos en que pueda funcionar el vertedero de la coronación, cerramos también los espacios entre contrafuertes mediante una pantalla, única, de hormigón armado, sobre la que podrá descender el agua en las máximas avenidas. Las dos pantallas (de aguas abajo y aguas arriba) se sueldan en la parte superior por un forjado plano, del mismo material que ellas, constituyendo así la coronación de la presa; forjado que descansa, además, en su zona central sobre los arcos que arriostran superiormente las coronaciones de los contrafuertes.

La gran altura de éstas exige elementos intermedios de unión, á cuyo fin disponemos un arriostramiento, á la altura media de 40 metros sobre el basamento, formando el enlace por bóvedas de hormigón, con generatrices horizontales.

Como se ve, quedan multitud de espacios vacíos, en el interior de la presa, limitados por los contrafuertes, las bóvedas de aguas arriba y la pantalla de aguas abajo; espacios enormes que podemos utilizar, en parte, para alojar la central hidroeléctrica destinada al aprovechamiento del desnivel hidráulico producido.

Alójase la central en los cuatro vanos medios comprendidos entre contrafuertes, perforando tres de éstos—para establecer la continuidad de la sala—por medio de aberturas de 9 metros de ancho y 10 de alto, con un medio punto. Dos pisos constituyen las salas de máquinas: uno inferior donde se instalarán seis turbinas y otro superior para los alternadores, acoplados directamente á aquéllas por ejes verticales, formando grupos electrógenos de 16.000 HP. cada uno, dando un total de 80.000 HP. para potencia total, por ser uno de los elementos de reserva.

La planta de turbinas descansa sobre un macizo de mampostería, construido sobre el basamento en un ancho de 14 metros, con 6 de cota sobre él, por el que penetrarán los tubos de aspiración de aquéllas. Dos escaleras de caracol, una en cada extremo de la sala, comunicarán esta planta con la de alternadores, cuyo piso, abovedado sobre el inferior, dista 3 metros de él en altura.

Bastaría formar estos pisos para establecer la central, pero el enorme espacio vacío que la rodea haría poco comfortable su estancia, y por otra parte, como tratándose de una obra de tan singular importancia es preciso precaverse de posibles contingencias, si por un accidente, aunque poco probable, se abriera alguna vía de agua en las bóvedas de aguas arriba ó se produjeran filtraciones ó escapes de gran consideración, conviene que la central quede protegida; causa por la que se proyecta cerramiento lateral mediante muros cilíndricos que llegan hasta el techo, formado por la bóveda de arriostramiento intermedio.

El acceso á la central está indicado por un túnel que arrancaría de la margen izquierda, en un punto de aguas abajo de la presa, á 35 metros de cota sobre el estiaje, con objeto de tener la seguridad de que no han de penetrar por él las aguas de avenida, en ningún caso.

Desde dicho punto arranca la galería con pendiente del 9 por 100 descendente, para salvar los 26 metros de diferencia de cota que le separa de la cámara de alternadores.

En la conveniencia de que la presa sea en su totalidad visitable, establecemos comunicación entre sus diversas partes; á ese fin, desde la sala de turbinas descienden escaleras hasta las galerías horizontales practicadas en el basamento, que conducen á las cámaras de maniobra de las compuertas de fondo, desde las cuales puede subirse al piso del basamento, que por aberturas en los contrafuertes, á su nivel, se hace por completo visitable y

visibles, desde él, los paramentos interiores de las bóvedas. Desde la cámara de alternadores se asciende, de igual modo, al trasdós del arriostramiento medio, practicable en toda su extensión y desde el que puede reconocerse la mitad superior de la presa.

Igualmente visibles son los tubos de toma de las turbinas, que arrancan de una margen, con objeto de la más fácil reposición de la rejilla de entrada, y desde ella, penetrando por una bóveda, siguen interiormente descansando en la de arriostramiento hasta descender á la máquina correspondiente.

La altura de arranque del tubo de toma es á 30 metros por bajo del nivel de embalse lleno, pues no puede contarse con el buen funcionamiento de los grupos para oscilaciones de carga demasiado grandes.

Finalmente, en los 243 metros que tiene la presa en su coronación, se establece un camino de servicio, por una pasarela de hormigón armado, construida sobre la coronación, á 4 metros de nivel sobre ella, para que si en las extraordinarias avenidas funciona como vertedero pueda tener un desagüe suficiente.

MÉTODO DE CÁLCULO EMPLEADO.—Tratándose de una obra de tan extraordinarias proporciones forzoso es, incluso extremar las condiciones de seguridad, aunque siempre dentro de los límites de lo racional, pues para acumular la masa exageradamente no fuera preciso ser técnico.

Si al observar el perfil que acompaña esta nota resulta sensación de excesiva ligereza, acostumbrados como estamos á los perfiles macizos triangulares, con tanta base casi como altura, en que las tensiones que pudieran nacer quedan ahogadas á fuerza de materia, condición precisa con arreglo al método de Levy, que sirvió para calcularlas, sin embargo, creemos que la estabilidad elástica puede estar en condiciones por lo menos tan favorables y aun quizá más. Efectivamente, la teoría de Levy—y hablamos de ella por ser la más racional—como todas las de la mecánica elástica, están establecidas en la hipótesis de la homogeneidad de la materia, condición utópica á la que podemos aproximarnos cuando se trate de elementos de pequeñas proporciones; pero tratándose de enormes sólidos, fabricados artificialmente, como sucede á las presas de fábrica, no puede menos de dejarnos bastante incertidumbre en la manera de propagarse las reacciones moleculares en su interior. Por el contrario, en nuestro caso, los contrafuertes y las bóvedas tienen más definido su papel: parece que se sabe mejor como trabajan, por quedar más localizadas las acciones.

No se crea que con esto pretendemos defender la paradoja de que lo macizo resiste menos que lo hueco. No; lo que sostenemos es que el interior de lo macizo es siempre un arcano y en lo hueco podemos ver mejor lo que le pasa á la envoltura.

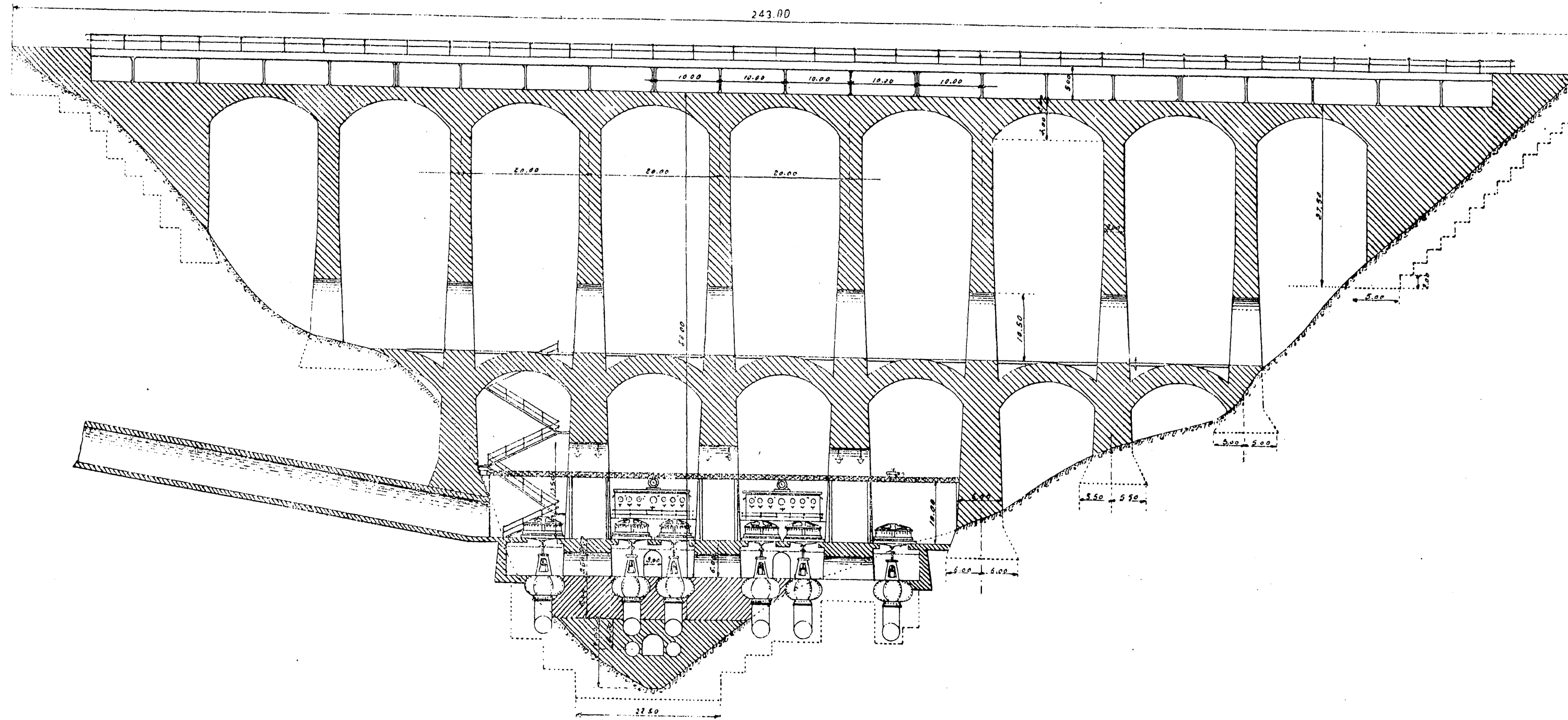
* *

Entremos ya en nuestro objeto. La primera cuestión á resolver es determinar la inclinación que deben tener los paramentos, ó sean los lados de los contrafuertes. Prescindiendo, por el momento, de la disimetría que produce la diferencia de empujes producidos en un lado por la pantalla de aguas abajo y en otro por la bóveda y pantalla de aguas arriba, estableciendo la condición de que la resultante del empuje del agua pase por el centro, se obtiene una relación que determina en $35^{\circ} 20'$ el ángulo, con respecto á la vertical.

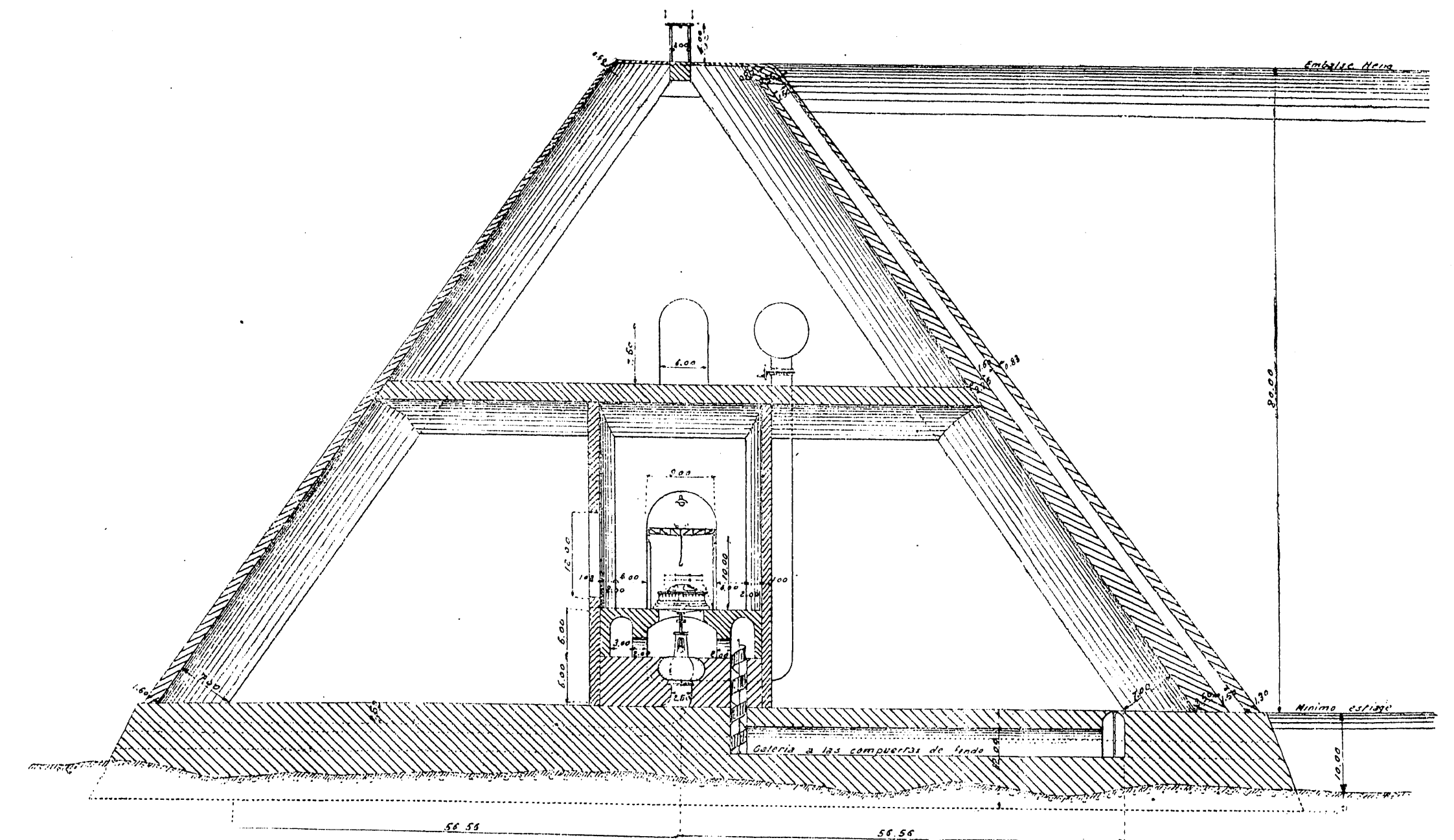
Entrando después en el cálculo de la pantalla de aguas arriba, cortamos por planos normales al paramento destacando entre sí rebanadas á las que aplicando el método elástico, derivado del teorema de Castigliano, por constituir arcos de directriz parabólica, determinamos en los arranques—y por consecuencia en cualquier punto—los valores de los tres entes de razón: momento

Presa de contrafuertes, por D. Alfonso Peña

Sección longitudinal.

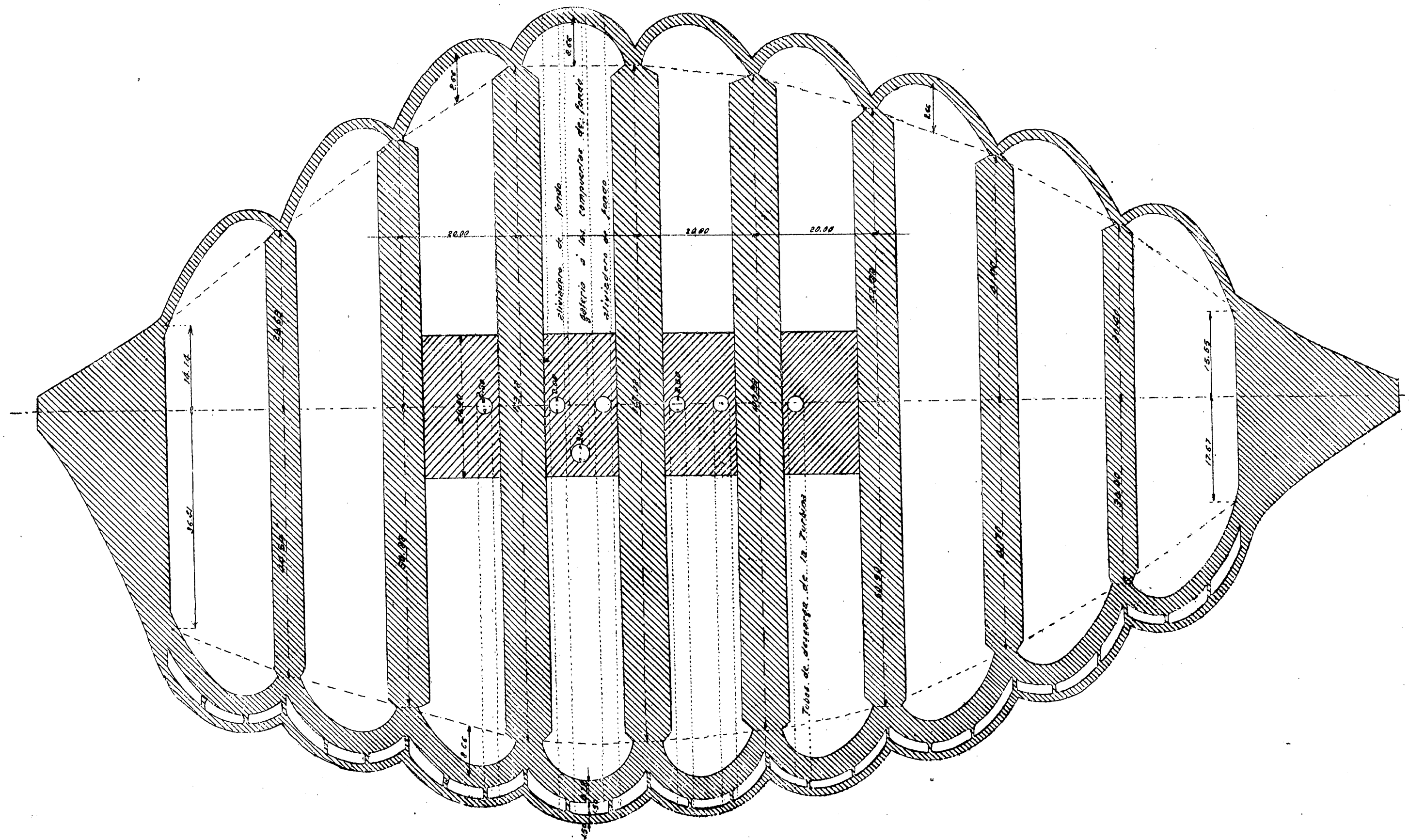


Sección transversal.



Presa de contrafuertes, por D. Alfonso Peña

PLANTA

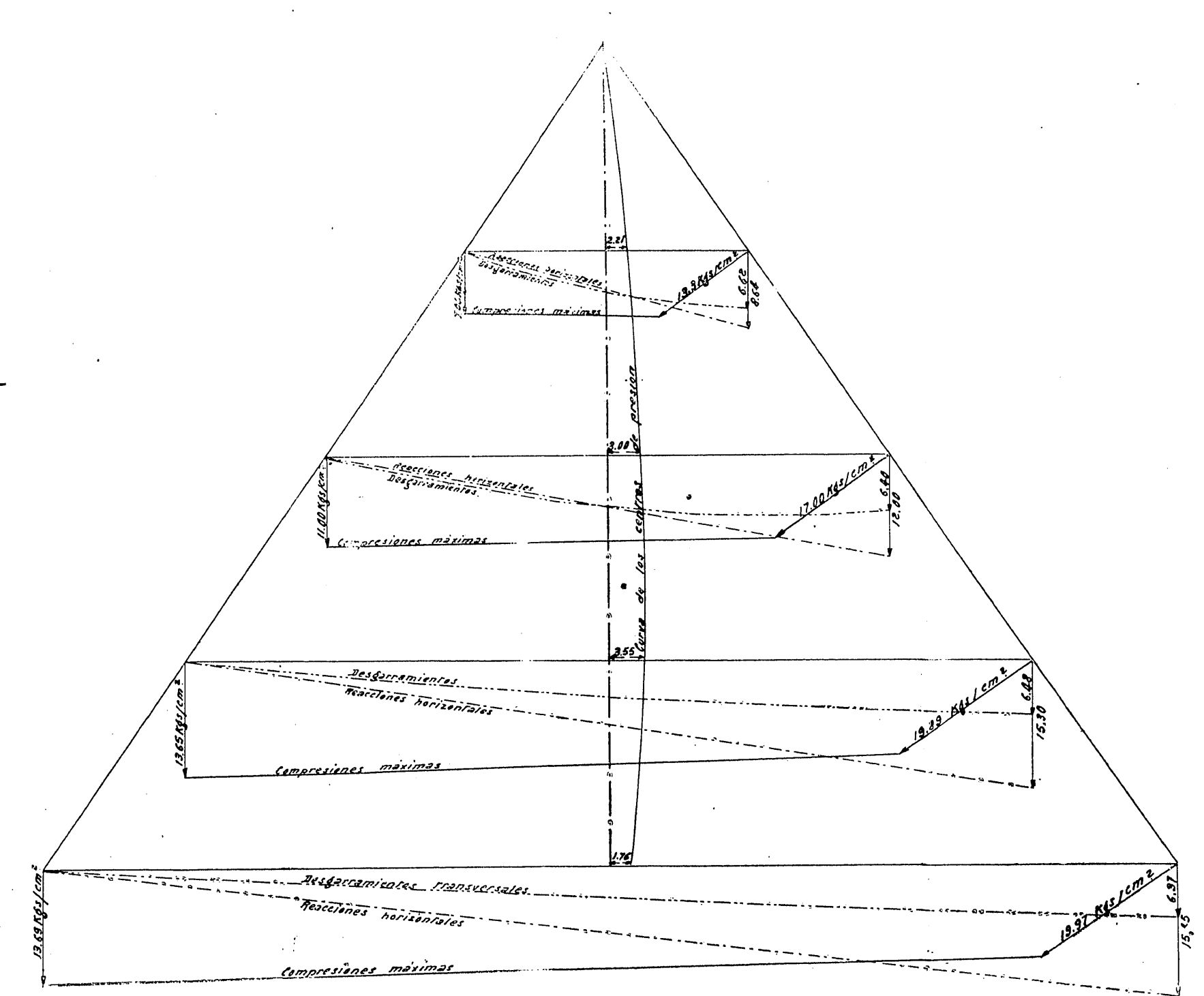


— *Curvas elásticas en el contrafuerie*

— Escala

De longitudes 1:500

De fuerzas unitarias $1 \text{ c/m} = 6 \text{ N/m}$



y reacciones vertical y horizontal; elementos suficientes para determinar el grueso y las armaduras, colocadas simétricamente. Siendo la causa que sobre ella actúa la presión hidrostática, y variando ésta con la profundidad, debemos variar en ese sentido la sección y los armados. Hubiéramos deseado deducir una fórmula general que estableciera la ley de variación de los elementos: momento y reacciones en función de las variaciones de presión, para tener de ese modo la ley de gruesos, y, por consecuencia, de cuantías, pero no poca complicación tendrá la expresión que así resultara, pues si bien la reacción vertical es proporcional á la carga, en la horizontal y el momento entra el radio de giro de la sección incógnita y en forma de binomio de términos cuadráticos, razón por la que en virtud de la premura de tiempo de que disponíamos resultó más cómodo repetir el cálculo para los niveles de 20, 40, 60 y 80 metros, aun con toda su prolijidad.

El mismo método elástico se ha empleado para las bóvedas principales, con la variación de que las cargas están concentradas en los riñones, habiendo hecho el estudio de los espesores de suerte que en ningún caso se consideren las tracciones y que las compresiones máximas, por las resultantes de todas las causas, no llegue á los 45 kilogramos por centímetro cuadrado, debiendo advertir que para extremar la prudencia se consideró como luz de ellas los 20 metros que hay de eje á eje, cuando descontando en la directriz el espesor de contrafuertes, en rigor serían 16.

En la pantalla de aguas abajo, como la lámina de agua, cuando vierta, será muy pequeña, relativamente, la mayor acción que sobre ella actúa es la variación de temperatura, para la que, suponiendo una oscilación de $\pm 20^\circ$, hemos calculado la sección y armaduras que resistan, aplicando el principio citado de igualar á cero las derivadas del trabajo elástico producido.

Creciente es, sin embargo, el espesor con que se han proyectado, por tener en cuenta que en la parte inferior puede haber una carga hidráulica cuando las grandes crecidas hagan funcionar el aliviadero de superficie.

No hemos de entrar en detalle del estudio hecho sobre el forjado de la coronación ni de otros tantos elementos anejos, por constituir campo sobrado conocido de todos.

Si diremos algo sobre los elementos fundamentales—los contrafuertes—, pues el sistema empleado tiene alguna singularidad.

Siendo la mampostería el material empleado en ellos, forzoso es imponer las dos condiciones: ausencia de tensiones y cargas moleculares máximas de 20 kilogramos por centímetro cuadrado.

Si las bóvedas de aguas arriba y aguas abajo fueran iguales, para el ángulo de paramentos fijado se verificaría que la resultante del empuje caería en el centro de cada sección del contrafuerte y trabajaría, por lo tanto, en las condiciones más favorables; pero la notable disimetría, que por la diferencia de cargas permanentes en un paramento y otro se produce, á consecuencia de la desigual masa de unas y otras bóvedas, acusan un desplazamiento de la resultante y una desigual distribución en las cargas. Pero también es cierto que si en lo que afecta á los pesos tenemos en cuenta las bóvedas, en lo que afecta á la resistencia debe asimismo tenerse presente las secciones resistentes que de ellas resultan. La falta de simetría produce un desplazamiento de la resultante hacia aguas arriba y considerando que á cada sección del contrafuerte están incorporadas las de las bóvedas de uno y otro lado, existe otro desplazamiento del centro de gravedad en el mismo sentido que el anterior, resultando, por tanto, cierta compensación.

Dividiendo el contrafuerte por planos horizontales, á distintas alturas, para cada una de esas secciones se procedió en la siguiente forma: Fijando un grueso en la sección correspondiente,

la diferencia de momentos estáticos entre los pesos de las bóvedas de uno y otro lado dan el valor de la excentricidad del punto de paso, una vez evaluadas las cargas de todos los elementos, incluso el peso estabilizador del agua.

Por ese medio se fija un punto de la sección en el que actúa una fuerza cuya componente vertical es la antes citada y la horizontal el empuje hidráulico, provocando la primera compresiones variables y la segunda desgarramientos.

No es lógico admitir que las cargas de desgarramiento sean constantes en toda la sección, aunque alguna vez se haya tomado así.

La elasticidad demuestra que debe ser decreciente desde el punto en que actúa la causa hasta el otro extremo, según una ley parabólica. Asimismo esas cargas horizontales provocan la compresión de elementos adyacentes cuya ley de propagación, variando muy lentamente, puede tomarse como rectilínea decreciente.

Estableciendo el equilibrio, en sentido horizontal y vertical, de un elemento (con el ancho a del contrafuerte en la sección) formado por un trozo diferencial, contiguo á la bóveda y sus dos proyecciones dx dz , entre las cargas c (de compresión vertical), h (de desgarramiento) y n (de compresión horizontal) resultan las siguientes relaciones:

$$n = c + h \left(\frac{dz}{dx} - \frac{dx}{dz} \right) \quad h = \left(\frac{p}{a} - c \right) \frac{dx}{dz}$$

siendo p la presión.

Estimando el momento de inercia de la sección total y su radio de giro, como el punto de paso de la resultante está determinado, fácilmente se halla la ley de compresiones, y conocida ya c , las expresiones anteriores determinan las otras dos cargas moleculares en cada punto, sabiendo ya sus leyes de variación.

La teoría de la deformación compuesta permite hallar en función de esos elementos la compresión máxima total en virtud de la expresión

$$C = \frac{c + n}{2} \pm \sqrt{h^2 + \frac{(c - n)^2}{4}}$$

así como el ángulo de orientación del vector representativo.

Por ese método queda hallado, en cada punto de la sección, la máxima reacción molecular y la tangente á la isostática en él, siendo preciso combinar los gruesos de tal modo que queden anuladas las isostáticas de tensión, para lo que es preciso que en todos los casos el valor del radical de C sea menor que el primer término.

La repetición del sistema para distintas secciones hace conocer por completo la ley de variación y forma de las isostáticas de compresión, con sus cargas correspondientes, determinando las condiciones de trabajo elástico del contrafuerte.

DE CLUNIA Á INTERCACHIA, SEGÚN EL ITINERARIO DE ANTONINO

POR

DON MANUEL DÍEZ SANJURJO

Ingeniero de Caminos Canales y Puertos.

(CONTINUACIÓN) (1)

V.—RAUDA (2).

Es la Rauda de Tolomeo y el Rodacis del Ravenate y otros escritores. En el itinerario figura en el camino núm. 27. Saavedra, en su trabajo sobre las vías, en las variantes, llama la aten-

(1) Véase el núm. 2173.

(2) Rauda It., p. 450,5.