

Resumen de los efectos debidos al peso propio en las secciones de arranque y clave de los arcos A, B, C y D

	Arco A	Arco B	Arco C	Arco D
<i>Sección de arranque:</i>				
Esfuerzos normales (kg).....	66 701,83	66 548,51	66 052,32	65 146,95
Momentos flectores (kg/m).....	881,75	1 482,82	3 104,66	6 656,71
Compresión en el intradós (kg/cm ²).....	21	22	24	27
Idem en el trasdós (kg/cm ²).....	13	12	10	6
<i>Sección de clave:</i>				
Esfuerzos normales.....	50 386,31	50 166,93	49 550,07	48 246,53
Momentos flectores.....	+ 1 066,65	+ 1 333,84	+ 2 168,36	+ 3 928,08
Compresiones en el intradós.....	8	8	7	6
Idem en el trasdós.....	20	20	20	21

Dedúcese, a la simple vista del cuadro-resumen, que al aumentar desde 0,30 m hasta el triplo (0,90 m es, como se dijo, el espesor del arco D) el espesor en la clave, en la ley de variación de los espesores que ahora estamos considerando aumenta la máxima compresión, debida al peso propio, en los arcos rebajados al quinto estudiados, de este modo: en el arranque, desde 21 a 27 kg/cm² (en un 30 por 100, próximamente), y en la clave, sección de *tendencias más conservadoras*, pasa la máxima compresión de 20 a 21 kg, aumentando, por tanto, en un 5 por 100 solamente. Vese también que la acción del peso propio no produce tracciones en la clave ni en el arranque de los cuatro arcos A, B, C y D.

Pudiera decirse que, al considerar las acciones debidas a la carga permanente o peso propio, el estudio

de nuestros arcos pone de relieve que el espesor en la clave es cosa secundaria respecto del *área de la sección por la clave*, que es lo importante y digno de tenerse en cuenta. Pero me parece prematuro sentar consecuencias, que reservaré para el próximo artículo, en el que terminaré lo que pensaba tratar acerca del peso propio, poniendo para ello otros ejemplos de arcos, que serán seis o siete en total, en los que la consideración del peso propio se complicará algo con la del rebajamiento y probablemente con la variación de la figura de la directriz o fibra media, que no ha de ser siempre la parábola de segundo grado tan agasajada y adulada de la generalidad, más que por otro motivo, por la facilidad con que se deja manejar para el cálculo analítico.

José LÓPEZ RODRÍGUEZ
Ingeniero de Caminos

Aprovechamientos hidráulicos industriales en el Oberhasli (Suiza)

Enviado por el Excmo. Ayuntamiento de Bilbao, y aprovechando una amable invitación hecha por la importante Casa suiza «Von Roll», he tenido ocasión de visitar, en unión de varios compañeros, las obras que la Sociedad *Forces Motrices Bernoises* está realizando para el aprovechamiento de los recursos hidráulicos del río Aar, en el Oberhasli (Suiza). Son estas obras, seguramente, por su importancia y por los procedimientos constructivos empleados, de las más interesantes actualmente en construcción en Europa, y aunque los problemas allí planteados y su resolución no son análogos a los que generalmente se presentan en nuestro país, quizá el conocimiento de ellos pueda ser de alguna utilidad a los lectores de la REVISTA, por cuya causa me he decidido a hacer una breve relación de lo que allí se está haciendo.

El aprovechamiento.

El consumo de energía eléctrica en las redes de la Sociedad anónima *Forces Motrices Bernoises*, aumenta cada año considerablemente. Desde 1923, la Sociedad se ve obligada a cubrir una gran parte de sus necesidades comprando la energía a otras empresas, hasta el punto que en 1924 pagó por este concepto

más de dos millones de francos, y su incremento es tal, que dentro de pocos años sería imposible cubrirlos aun comprando energía extraña.

Entre todos los proyectos que la Sociedad había estudiado para cubrir sus necesidades, solamente el aprovechamiento de las fuerzas hidráulicas del Oberhasli era capaz de conseguirlo. La construcción, pues, de este aprovechamiento era para la Sociedad una necesidad urgente, hasta el punto de que en el momento en que se ponga en servicio la Central de Handeck, toda su producción será inmediatamente absorbida por las necesidades de la empresa.

El aprovechamiento completo de los recursos del Aar en esta zona se proyecta en tres saltos escalonados, que comprenden desde el glaciar inferior del Aar hasta Innertkirchen (figuras 1.^a y 2.^a.)

El caudal anual medio suministrado por la cuenca de alimentación del primer salto, cuya superficie total alcanza 111,50 kilómetros cuadrados, es de 240 millones de metros cúbicos. Además del caudal del salto superior, las dos Centrales inferiores pueden utilizar las aguas suministradas por las cuencas de alimentación intermedias, que son anualmente 85 millones de metros cúbicos para cada tona de agua. Estas cifras indican que la cuenca superior del Aar es excepcionalmente rica en agua, puesto que la al-

tura anual aprovechable pasa de dos metros cúbicos por metro cuadrado.

Admitiendo una producción de energía constante

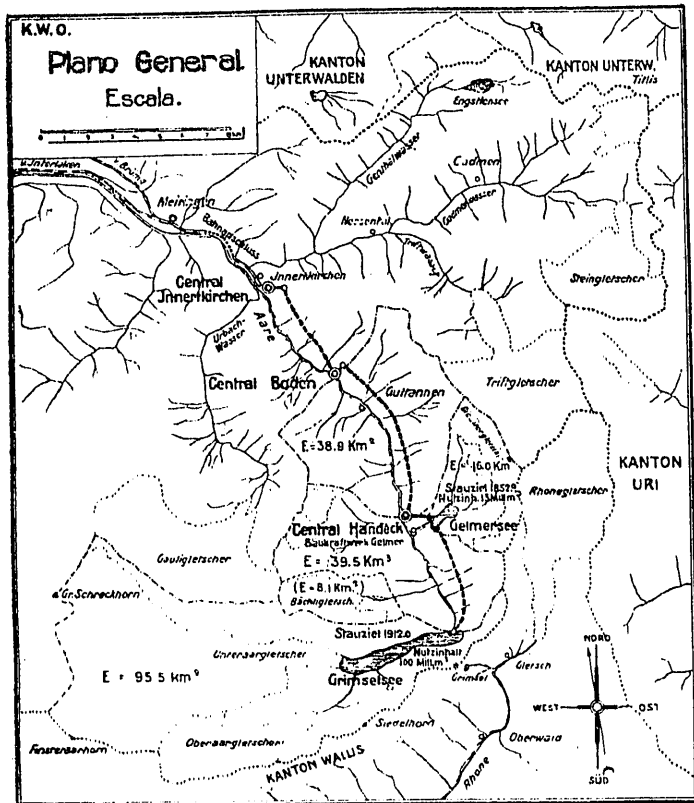


Fig. 1.ª Plano general.

durante todo el año y hecha deducción de las pérdidas inevitables, la Central de Handeck podrá utilizar una media de 210 millones de metros cúbicos de agua,

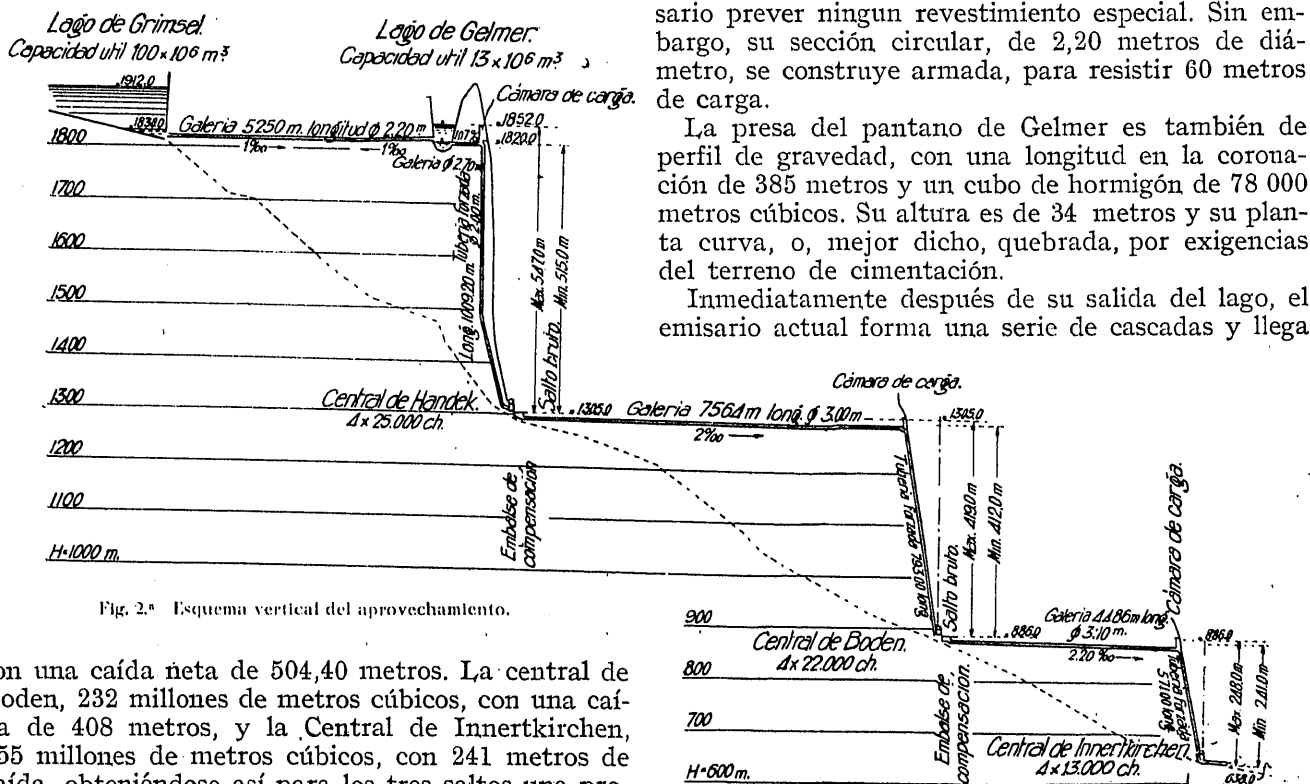


Fig. 2.ª Esquema vertical del aprovechamiento.

con una caída neta de 504,40 metros. La central de Boden, 232 millones de metros cúbicos, con una caída de 408 metros, y la Central de Innertkirchen, 255 millones de metros cúbicos, con 241 metros de caída, obteniéndose así para los tres saltos una producción de energía neta sobre las batras de la central de Innertkirchen de 223 más 190 más 125, o sea un total de 538 millones de kilovatios-hora.

De los tres saltos proyectados está en construcción sólo el superior. Comprende éste los embalses de Grimsel y Gelmer. El primero, de 100 millones de metros cúbicos de capacidad y de 13 millones de metros cúbicos el segundo. Ambos pantanos se forman cerrando antiguas cubetas de glaciares, en las cuales existen actualmente pequeños lagos. El nivel del lago de Gelmer, actualmente a la cota 1 822, será elevado 30 metros. El máximo nivel de agua del pantano de Grimsel se ha fijado a la cota 1 912, siendo la del actual lago la 1 815. Para la formación del pantano de Grimsel es necesaria la construcción de dos presas; la presa principal que cierra la garganta Spitalamm, y otra segunda en el lugar llamado Seeuferegg. La presa de Spitalamm tiene una altura de 114,50 metros hasta la base de cimientos. Su planta es curva, de 93 metros de radio, y el tipo elegido es el de un muro de resistencia combinada, es decir, resistiendo a la vez, por su propio peso y como bóveda horizontal. Sus paramentos son inclinados, de $1 \times 0,10$ el de aguas arriba, y $1 \times 0,50$ el de aguas abajo. El cubo de obra de esta presa es de 350 000 metros cúbicos de hormigón; el desarrollo en la coronación, de 180 metros.

La presa auxiliar de Seeuferegg es un muro de gravedad, de planta recta, de 60 000 metros cúbicos de hormigón; su coronación tiene 290 metros de longitud. El terreno de fundación de ambas presas es granítico y de inmejorable calidad. El futuro lago de Grimsel alcanzará una superficie de dos y medio kilómetros cuadrados.

Del pantano de Grimsel arranca una galería de cuatro kilómetros y medio que sigue la margen derecha del valle, en roca perfectamente sana, y que conduce sus aguas al pantano de Gelmer. La distancia mínima de la galería a la superficie de la roca se ha fijado en 100 metros, de modo que no es necesario prever ningún revestimiento especial. Sin embargo, su sección circular, de 2,20 metros de diámetro, se construye armada, para resistir 60 metros de carga.

La presa del pantano de Gelmer es también de perfil de gravedad, con una longitud en la coronación de 385 metros y un cubo de hormigón de 78 000 metros cúbicos. Su altura es de 34 metros y su planta curva, o, mejor dicho, quebrada, por exigencias del terreno de cimentación.

Inmediatamente después de su salida del lago, el emisario actual forma una serie de cascadas y llega

a la explanada de Handeck, situada 400 metros más abajo. La central está enclavada un poco más abajo de esta cascada. En este sitio y en una longitud de

próximamente 500 metros, existe mucho arbolado, que aleja todo peligro de aludes sobre el emplazamiento de la Central. El agua del pantano de Gelmer se conduce a la cámara de carga de la Central por una galería de 200 metros de longitud, y desde dicha

girando a 500 vueltas por minuto y desarrollando una potencia unitaria de 25 000 caballos. Tienen 22 álabes y la velocidad del chorro de agua a la salida de los inyectores es de 110 metros por segundo.

Todas las piezas de las turbinas están probadas

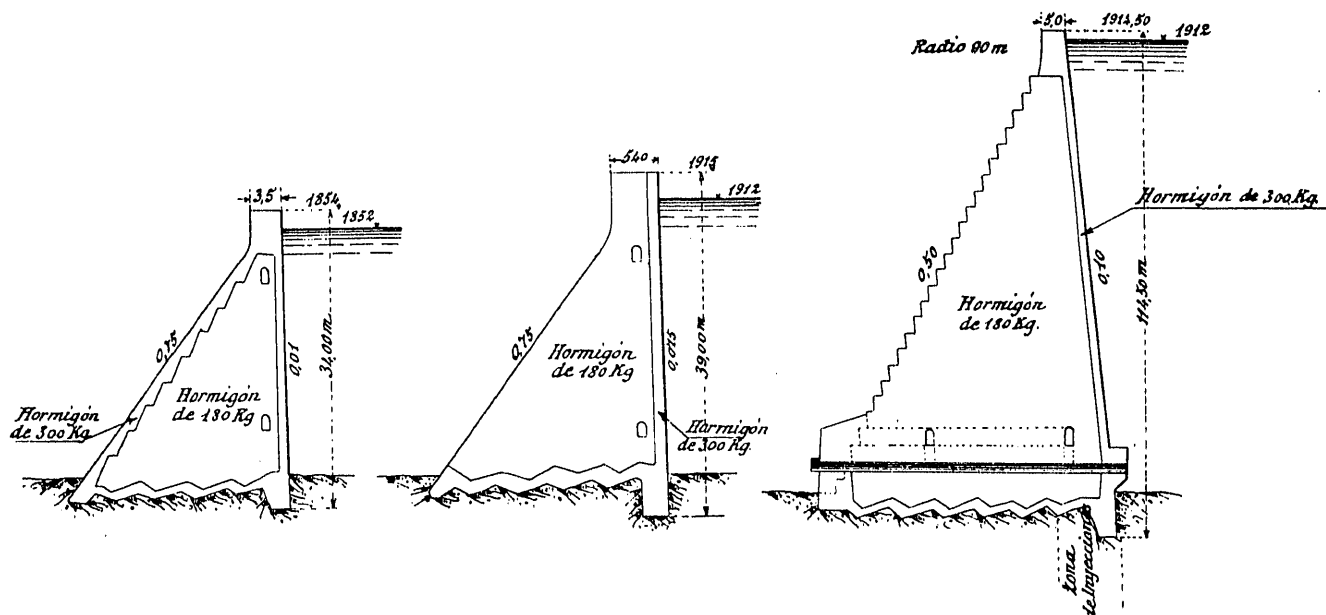


Fig. 3.ª Secciones de las presas.

cámara a la Central, la conducción forzada se ha excavado en la roca, formando un pozo de una longitud aproximada de 1 000 metros y 2,20 metros de diámetro, revestido en su parte inferior de palastro, y capaz para un caudal medio de 6,65 metros cúbicos

al doble de la presión a que han de trabajar normalmente. Los alternadores, de una potencia normal de 25 000 kilovoltios-amperios, producirán la energía a 11 000 voltios. Las obras para la colocación del primer grupo se comenzaron en primero de agosto y

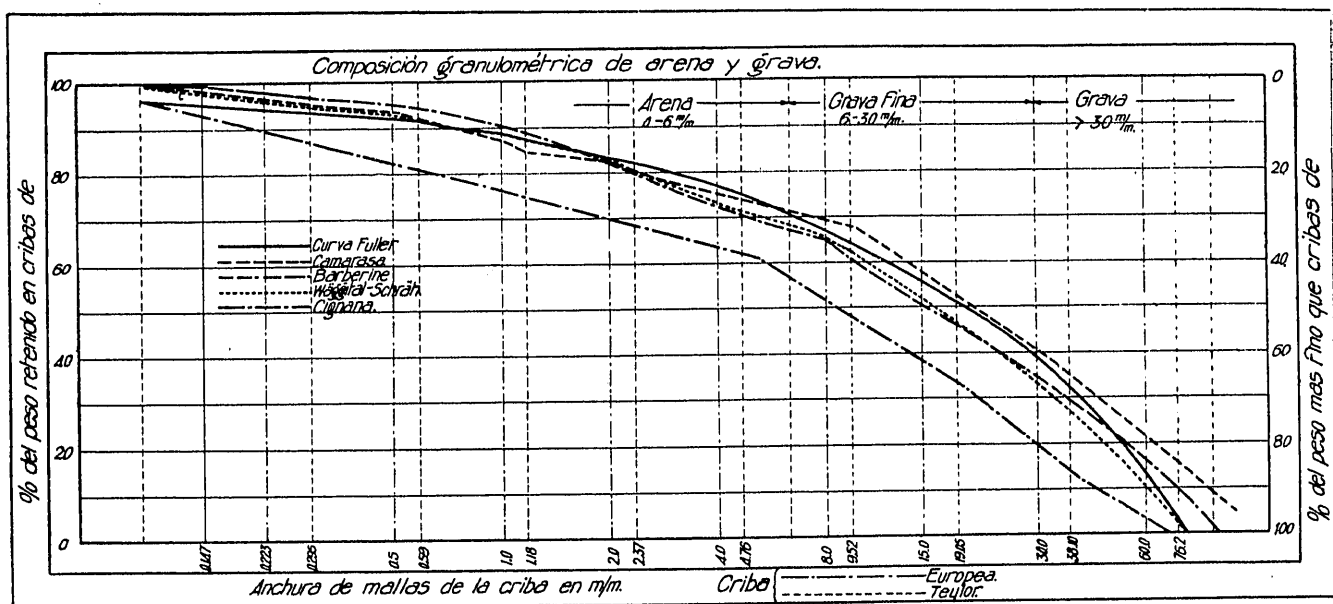


Fig. 4.ª Gráfico de composiciones granulométricas.

por segundo y un máximo de 18,20 metros cúbicos. En esta galería se han hecho inyecciones de cemento a 30 atmósferas. Al lado del edificio de la Central se construirán las casas de habitación para el personal de la misma y se creará más tarde un pequeño embalse de compensación para el segundo salto.

La Central está equipada con cuatro turbinas Pelton, de dos inyectores cada una, de eje vertical,

se piensa poder ponerle en servicio a fin de este año. La instalación está dispuesta para montar en lo sucesivo un grupo más. A cada alternador corresponde un transformador de 11 000/50 000 voltios y 25 000 kilovoltios-amperio.

Desde la Central de Handeck hasta Guttannen, el valle del Aar es muy cerrado y no es practicable en invierno, sin exponerse al peligro de los aludes.

Ante la imposibilidad de la construcción, por esta causa, de una línea aérea de transporte eléctrico, se hará ésta por cables alojados en una galería perforada en la roca de la margen izquierda del valle, galería que servirá al mismo tiempo de camino de acceso para que el personal de la Central de Handeck pueda comunicarse con los pueblos inferiores. A partir de Guttannen, donde ya el valle ofrece menos peligros, el transporte se hace aéreo hasta Innertkirchen, a la misma tensión de 50 000 voltios, y

necesita, una vez colocado, apisonado alguno, bastando con el producido por su propio peso para obtener la homogeneidad y compacidad convenientes.

Para el proyecto de las mezclas se han tenido en cuenta los conocimientos y experiencias adquiridos en la construcción de las grandes presas modernas, muy principalmente en las suizas de Barberine y Wägital, y los resultados de los estudios y ensayos hechos por el Laboratorio Federal sobre los hornigones de aquéllas y sobre los obtenidos con los áridos

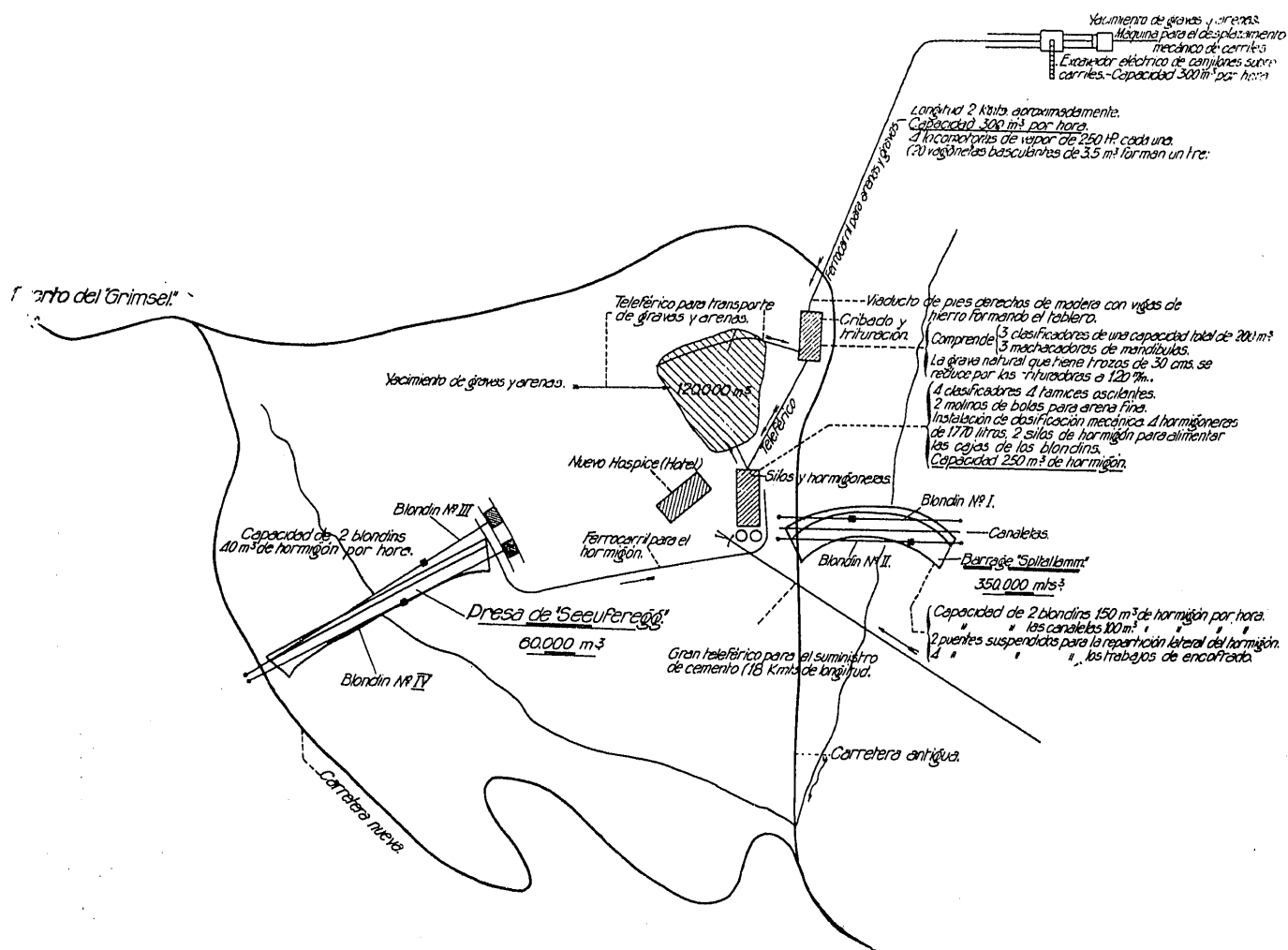


Fig. 5.º Esquema de las instalaciones en el Grimsel.

desde este último punto parten las líneas de transporte a 150 000 voltios.

La necesidad imperiosa que tiene la Sociedad *Forces Motrices Bernoises* de poner en explotación el primer salto, unida a la imposibilidad de trabajar en las presas de los pantanos más de tres o cuatro meses al año, por estar el resto del tiempo cubiertos de nieve, hace que se hayan agotado todos los medios posibles para llevar al mínimo el plazo de duración de las obras, dando lugar a instalaciones auxiliares, cuya importancia no estaría justificada por otras causas.

Presas de Spittallamm y Seeuferegg.

Las presas se construyen de hormigón colado en masa, es decir, hormigón de fluidez suficiente para permitir su transporte y vertido en obra con canales largos sin que sus elementos se disgreguen, y que no

de que en el Oberhasli se disponía, corrigiéndose cuidadosamente cuantos defectos en aquellas obras se observaron. Se ha ido, pues, a la fabricación del hormigón sobre bases perfectamente experimentadas.

Conocida es, y no cabe en estas cuartillas justificarlas, la conveniencia de que la composición granulométrica del árido empleado en un hornigón sea tal que pueda traducirse en una curva que se aproxime lo más posible a la ideal preconizada por Fuller. A conseguir esta aproximación se ha tendido en todas las presas construídas recientemente, en la medida que los elementos de gravas y arenas de que se disponía y de sus elementos de preparación lo permitían. Pero a este fin, la clasificación de áridos se ha hecho en Barberine de dos clases de elementos: arena, de 0—8, y grava, de 8—100 mm; en cuatro en Wägital, 0—5, 5—10, 10—40 y 40—80 mm. En dos en Chancy-Pougny, 0—8 y 8—80; en dos en Cignana, 0—15 y 15—70, etc. La experiencia ha demostrado

que la división en dos clases de elementos es insuficiente y que la división en cuatro es excesivamente compli-

gravilla de 6 — 40 y grava de 40 — 120 que entran próximamente por terceras iguales partes en la composición del hormigón.

La cantidad de cemento en los hornigones del cuerpo de las presas es, aproximadamente, la empleada en otras obras de la misma naturaleza: 180 kilogramos por metro cúbico. La relación de cemento agua también se aproxima a las conocidas, y la cantidad de ésta representa del 6 al 8 por 100 de los áridos.

Con el fin de aumentar la impermeabilidad del hornigón y al mismo tiempo su trabajabilidad, se añade en el Grimsel, al hornigón, unos 60 a 70 litros de polvo de arena impalpable de 0 a 0,5 milímetros molido con finura equivalente a la del cemento. El agua que es necesario emplear para la fabricación de un hornigón, y sobre todo de

un hornigón colado, es muy superior a la que entra en combinación con el cemento más la que absorbe éste y que llena los vacíos entre sus granos. Esta agua, en exceso, ocupa eventualmente

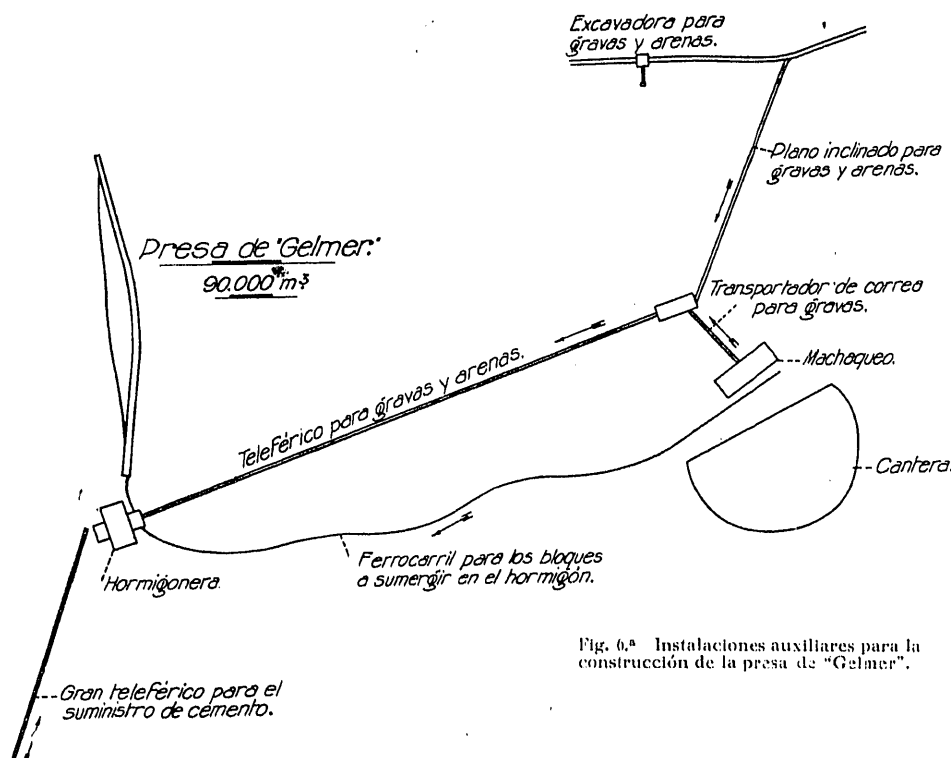


Fig. 6.^a Instalaciones auxiliares para la construcción de la presa de "Gelmer".

cada. Si se observa el gráfico de la figura 4.^a se verá que la división en los tres tamaños 0 — 6 — , 630 y 30 — 100 tiene positivas ventajas. Da una elasticidad mayor a la combinación de los elementos que la de dos: para obtener la composición granulométrica total más conveniente, para que el módulo de finura del conjunto sea el más elevado posible, compatible con la trabajabilidad necesaria al vertido del hormigón, y, además, resulta que en esta composición granulométrica más conveniente entran los tres tamaños indicados, aproximadamente, en partes iguales, lo que simplifica la construcción de los silos correspondientes, que deberán tener entonces la misma capacidad, permitiendo a su vez que pueda emplearse la arena para la fabricación de morteros y la gravilla para hormigón armado.

En las presas anteriormente construídas se había llegado a un tamaño máximo de la grava de 80 a 100 mm, no pasando de éste a causa de la mayor robustez necesaria en hormigoneras y elementos de transporte, que sufrían un deterioro mucho más rápido al rebasar este límite. Previsto esto en el Grimsel, se llega a 120 mm, y la clasificación se hace conforme a las normas antes indicadas en arena de 0 — 6,



Fig. 7.^a Pantano de Grimsel. Instalaciones de transporte de gravas y arenas. Trituración, clasificación y hormigoneras.

los espacios vacíos formados por el material más grueso y da lugar en el hormigón a grandes poros de agua. El papel del material pulverulento es precisamente absorber y dividir el agua libre, hacer capilares los espacios que ocupa y aumentar así la impermeabilidad, actuando, además, a modo de lubrica-

cante en los canales de transporte para favorecer la colocación.

Para los paramentos de las presas, y en especial para el de aguas arriba, se fabrica un hormigón más rico, de 300 kilogramos, en cuya composición entra

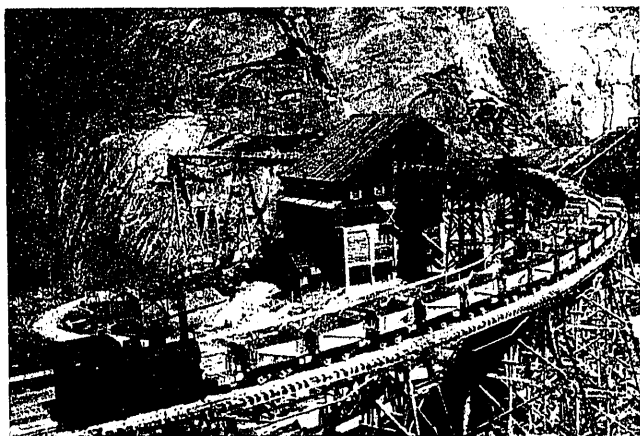


Fig. 8.ª Pantano del Grimsel, Trituración.

alguna más arena. Hormigones análogos se han dispuesto en las presas suizas antes mencionadas.

La instalación de fabricación de hormigón tiene una capacidad máxima de 2 500 metros cúbicos diarios. El cemento se transporta desde la línea general de ferrocarriles por un ramal de próximamente cinco kilómetros, construido por la empresa, hasta Innerschachen, donde existe la estación de transbordo del cemento a un tranvía aéreo de 20 kilómetros de longitud, que lo conduce hasta los emplazamientos de las presas. Hay dispuesto en esta estación dos grandes silos de cemento de 2 000 toneladas de capacidad cada uno. Este pasa directamente de los vagones a los silos por medio de un elevador. El llenado de las vagonetas del teleférico se hace directamente de los silos, por las bocas de los mismos, y el transporte se efectúa sin sacos, en baldes cerrados herméticamente. En la instalación de transbordo del cemento se ha dado extraordinaria importancia a disminuir en lo posible la pérdida de polvo, a cuyo fin hay instalados en las bocas de los silos aspiradores para la recuperación de este elemento. Las vagonetas del teleférico tienen una capacidad de 400 kilos, se suceden de minuto en minuto y pueden transportar diariamente 300 toneladas de cemento. De este tranvía aéreo parte en su recorrido un ramal al pantano de Gelmer, de modo que por él se hace la alimentación de cemento a los dos pantanos.

En el pantano del Grimsel se utilizan dos yacimientos de grava y arena graníticos, prácticamente inagotables y de composición granulométrica adecuada, de los que se extraen estos elementos con potentes excavadoras de cangilones. De uno arranca un ferrocarril y del otro un teleférico. Ambos conducen a una misma estación de clasificación y trituración de áridos, donde se separan primeramente todos los elementos de 120 mm, pasando los mayores a cuatro trituradoras que lo reducen a este tamaño. El conjunto desciende a tolvas situadas en la parte baja de la instalación, que cargan otro nuevo teleférico que eleva el material hasta la instalación de clasificación definitiva y de hormigonado. Esta instalación definitiva está situada junto a la presa de Spi-

tallamm. Los materiales entran por la parte superior del edificio y por uno de sus extremos, continuando hasta el centro, donde tiene lugar la descarga de los baldes sobre dos clasificadoras gemelas que separan los elementos mayores de 40 mm., conduciéndose éstos directamente al silo correspondiente. Los inferiores a dicha dimensión pasan al siguiente piso inferior, donde otras dos baterías de clasificadoras separan los elementos en los dos tamaños 0,6 y 6,40 milímetros, pasando luego a los silos correspondientes. Toda la instalación es simétrica respecto a un plano central, de modo que hay seis silos, dos para cada tamaño de elementos.

En la época actual se ejecuta una excavación de gravas y arenas en los yacimientos mayor de la necesaria, y el sobrante, después de reducido todo a tamaño menor de 120 mm, se almacena al aire libre, hasta llegar a un depósito de 140 000 metros cúbicos, que permita trabajar cuando las crecidas del río no hagan posible la extracción de primeras materias. De este depósito se extrae la grava y arena por galerías situadas por debajo.

En la misma instalación de clasificación definitiva hay en uno de sus extremos dos silos de cemento gemelos, un molino de bolas, para reducir la arena a polvo impalpable, y un silo para este elemento adicional.

Debajo de los silos está dispuesta una instalación,

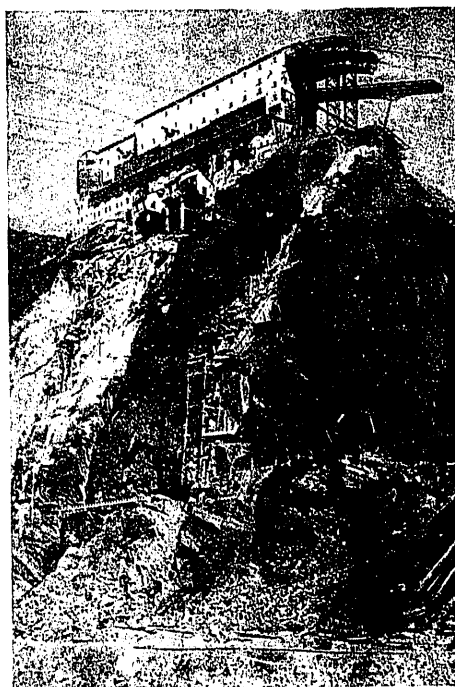


Fig. 9.ª Pantano del Grimsel, Instalación de clasificación, silos y hormigoneras.

también doble, de cintas transportadoras, sobre las que vierten las bocas de los silos, por adecuadas disposiciones de medida, las cantidades fijadas para la dosificación del hormigón. Esta dosificación, fijada con anterioridad al comienzo de la obra, se varía raramente, pues las condiciones de las gravas y arenas son, en general, uniformes. Las cintas transportadoras alimentan dos parejas de hormigoneras de 1 700 litros de capacidad cada una.

La distribución del hormigón se efectúa, para la presa de Spitalamm, de dos modos, bien por cana-

letas o por baldes, transportados por los *blondins* a tolvas suspendidas de los mismos, de los que arrancan canaletas cortas. Hay un sistema de canaletas y dos de tolvas. El vertido se hace por mangas, con una altura de caída de tres o cuatro metros sobre el tajo de la obra.

El personal necesario para la vigilancia de la instalación, de clasificación, hormigonado y distribución es escasísimo. En las fotografías que acompañamos puede apreciarse la ausencia completa de obreros en la presa.

Los paramentos de las presas se forman por encofrados de madera, que se van corriendo a medida que el trabajo lo permite, a cuyo fin se dispone de una instalación especial suspendida de dos *blondins*.

El hormigón para la construcción de la presa de Seeuferegg se transporta por unas vagonetas especiales a través de un túnel que se ha practicado en la colina, que separa las dos presas, y su colocación se hace por medio de dos *blondins* dispuestos sobre ella.

Presa de Gelmer.

La instalación para la construcción del pantano de Gelmer es mucho menos importante. Está prevista para la fabricación de 600 metros cúbicos diarios de hormigón. Para la fabricación de éste se extraen gravas y arenas del río; pero como la cantidad



Fig. 10 Pantano del Grimsel. Transporte y colocación del hormigón.

de grava es insuficiente, se explota una cantera cuya piedra se utiliza, parte para la fabricación de grava, parte para la obtención de bloques a sumergir en el hormigón.

Para la construcción se ha instalado un puente metálico de servicio, de toda la longitud de la presa, situado por encima de la cota de coronación. Este puente auxiliar, que queda embebido dentro del cuerpo de la presa, tiene dos pisos: el inferior sirve



Fig. 11.ª. Pantano de Gelmer. Instalaciones auxiliares.

para la circulación de vagonetas de hormigón, que vierten sobre tolvas, de las que arrancan las canaletas de distribución, y el superior para el transporte de los bloques que han de meterse en la fábrica, y que se colocan mediante dos puentes-grúas, cuyos brazos permiten su descenso sin interrumpir la marcha del hormigonado.

Las hormigoneras son dos, de 1 350 litros de capacidad, capaces de suministrar 300 metros cúbicos diarios cada una. El cemento llega por un ramal del teleférico general, que une a Innertkirchen con el Grimsel. Para la subida del resto de los materiales se ha construido un funicular que, partiendo de la carretera, cerca de la Central de Handeck, salva un desnivel de 400 metros, con una pendiente que en algunos puntos llega a ser de 50 por 100.

Los áridos empleados para los hormigones de la presa de Gelmer no se clasifican más que en dos tamaños, 0—10 y 10—80 mm, habiéndose efectuado numerosos ensayos para llegar a la composición más conveniente con sólo esta clasificación.

Para terminar, daremos algunas cifras del presupuesto de la obra y del costo de las instalaciones auxiliares. El presupuesto del proyecto para la construcción del primer salto es de 82 500 000 francos suizos. Los 400 000 metros cúbicos de hormigón que constituyen las dos presas del pantano del Grimsel se han calculado costarán 21 500 000 francos.

El ferrocarril hasta Innertkirchen y el tranvía aéreo desde este punto, han sido construidos por la empresa, y el resto de las instalaciones dispuestas por las contratas. El costo de las instalaciones auxiliares, excepto el ferrocarril y el funicular, ha sido de 4 500 000 francos, y la del total de éstas de francos 7 000 000. El precio de la tonelada de cemento puesto a pie de obra resulta a 95 francos, y se ha calculado un gasto de cemento para las dos presas indicadas de 7 600 000 francos.

Estanislao HERRÁN
Ingeniero de Caminos.