

Las obras de acondicionamiento del Salto del Mont-Cenis

530-14

GEORGES VIÉ, ingeniero de minas

sinopsis

La capacidad de la nueva presa del Mont-Cenis ha aumentado con estas obras desde 32 hasta 320 millones de m³, permitiendo el abastecimiento de una energía potencial de 650.000 millones de Mp · m.

En el artículo se describen las obras y operaciones necesarias para ello; entre otras, que las aguas captadas han sido llevadas al embalse por una red de galerías de sección variable de 28 km de longitud; y que la conducción forzada, de 18 km de longitud, fue dimensionada para un caudal de 51 m³/s, con un diámetro comprendido entre 4 y 5 metros.

Las nuevas centrales de Villarodin están alimentadas por una desviación de 3,6 km de longitud y 3 m de diámetro. Este conducto, colocado en un foso inclinado para aislarlo del terreno, en esa zona de yesos y anhidritas, principalmente, tiene un peso de 10.000 Mp, lo que constituye un récord europeo.

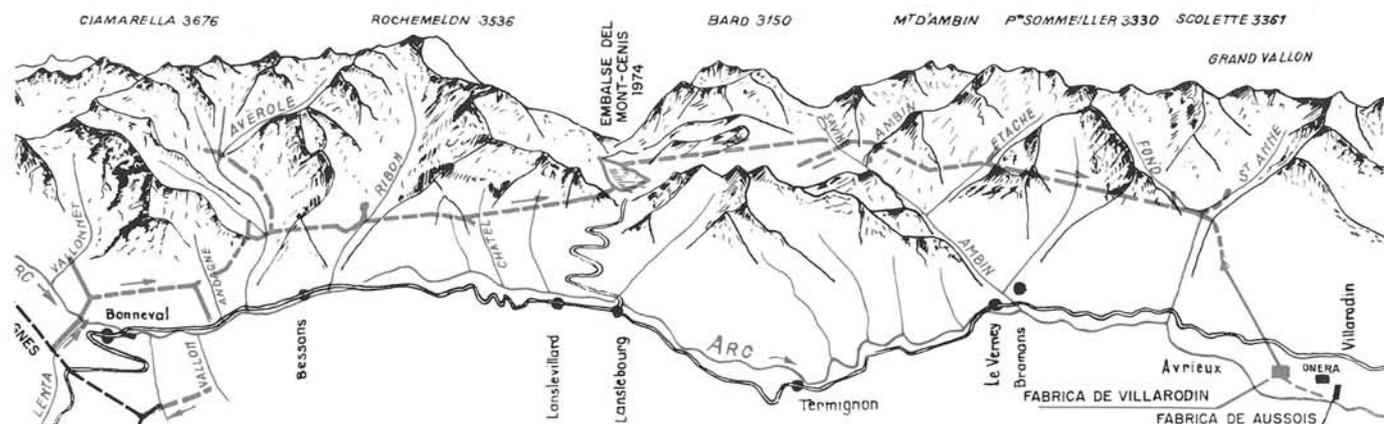
La Central comprende dos grupos verticales de turbinas Pelton de 195 MVA cada uno, con una productividad de 485 millones de kWh.

Desde fines del siglo pasado, el curso medio del río Arc ha sido acondicionado para las necesidades de las industrias electroquímicas y electrometalúrgicas; debido a ello, toda una serie de fábricas se escalonan desde Modane hasta aguas abajo de Saint Jean de Maurienne.

Sin embargo, todas ellas estaban relativamente mal equipadas, y mientras no se realizara la regularización del Arc no era posible obtener, en período de invierno, un óptimo partido de los recursos hidráulicos del torrente.

El lugar adecuado para una gran presa había sido reservado inmediatamente debajo de Bessans, pero tuvo que ser rápidamente abandonado por razón de las dificultades de implantación de un embalse importante sobre los escombros permeables; además de esto, el pueblo de Bessans quedaría inundado por el citado embalse.

VISTA PANORAMICA DE LA TRAJIDA



La meseta del Mont-Cenis resultaba favorable para la creación de una reserva importante, pero el desagüe natural tendría que realizarse hacia la vertiente del Adriático, con la consiguiente utilización por parte de Italia.

Una Convención Internacional Franco-Italiana, ratificada en 1962, preveía la realización por Électricité de France (EDF) de una obra que sería explotada en común: EDF obtendría beneficios de las aguas del río Arc conducidas al lago, y la Sociedad Hidroeléctrica Italiana utilizaría la reserva natural preexistente, aumentada por las aportaciones nuevas que provienen del cercano macizo montañoso italiano.

La nueva presa del Mont-Cenis ha aumentado de ese modo desde 32 hasta 320 millones de m³ (de los cuales 51 millones están a disposición de Italia) el volumen utilizable, sobrelevando el nivel del antiguo lago en 50 m. En la cota 1.974 m, este embalse es uno de los más interesantes de los Alpes, permitiendo el abastecimiento de una energía potencial de 650.000 millones de Mp · m, de los cuales 530.000 millones están a disposición de la EDF.

Esta cifra se puede comparar con la energía potencial almacenada en Serre-Ponçon: 750.000 millones de Mp · m, Tignes: 400.000 millones de Mp · m y Roselend: 300.000 millones de Mp · m.

Preparación del contacto núcleo-roca de cimientos.





El proyecto EDF lleva, al gran embalse del Mont-Cenis, las aguas del Arc superior captadas debajo de Bonneval, así como los torrentes afluyentes, río arriba, de la ribera izquierda, por medio de una red de 28 km de galerías de secciones variables.

Un dispositivo une la galería principal con la derivación anteriormente construida del Arc en el embalse de Tignes, de manera que las aguas de esta derivación pueden, según las necesidades, ser utilizadas para el relleno de la presa de Tignes, o para completar la del Mont-Cenis.

La nueva central aprovecharía las aguas derivadas del embalse del Mont-Cenis y conducidas a través de una galería de 18 km, situada en la conjunción de dos conducciones forzadas, una que proviene del Mont-Cenis y otra del vecino embalse de Aussois.

Comunicando estas dos conducciones forzadas se obtendrá una mejor utilización de los dos acondicionamientos, con un posible abastecimiento, en el embalse del Mont-Cenis, de parte de las aportaciones naturales del salto de Aussois en el comienzo de la estación.

La galería en carga (18 km) está equipada para un caudal de 51 m³/s, con un diámetro comprendido entre 4 y 5 metros.

Esta galería capta las aportaciones de cuatro torrentes, totalizando 12 m³/s suplementarios.

A partir de la galería principal antes citada, una conducción forzada, de 3,6 km de longitud y de 3 m de diámetro, alimenta la nueva central de Villarodin, cercana a la de Aussois.



Realización de escojeras.

Esta conducción, dada la naturaleza del terreno (particularmente yeso y anhidrita) ha sido colocada en una zanja con 33 % de inclinación. Su longitud es de 1.700 m y su peso sobrepasa los 10.000 Mp, lo que constituye un récord, al menos en Europa.

La central comprende dos grupos verticales de turbinas Pelton de 195 MVA cada una, con una productividad de 485 millones de kWh.

Habida cuenta de la influencia que el acondicionamiento ejercerá sobre las fábricas existentes río abajo, las cuales se aprovecharán de la regularización debida al embalse, la productividad media anual resultante de este acondicionamiento alcanzará los 577 millones de kWh, de ellos 380 millones durante el invierno.

Por otra parte, el mejoramiento de las condiciones de explotación de las fábricas en servicio del Arc medio, río abajo de la restitución, tendrá, como efecto complementario, valorar igualmente la futura central de Arc-Isère; el Arc debe ser ulteriormente derivado inmediatamente río abajo de Saint Jean de Maurienne, para restituir directamente en Isère, con un salto de 285 m, a 30 km por encima de Grenoble.

En lo que concierne a la perforación de las galerías que parten del lago del Mont-Cenis, y a la construcción de la propia presa del Mont-Cenis, los trabajos comenzaron en 1962, después de varios años de estudios preliminares.

A 2.000 m de altura, los períodos de trabajo son forzosamente cortos, como consecuencia de las condiciones climáticas extremadamente desfavorables: niebla, nieve, tempestades y heladas. La continuidad de la actividad no es posible más que en galería durante varios meses al año.

Para acelerar la ejecución, las Empresas han dispuesto los medios técnicos más poderosos y perfeccionados; sin embargo, a pesar de la gran mecanización, las obras del Mont-Cenis, consideradas justamente como las más importantes de Europa en el momento actual, necesitarán permanentemente un efectivo del orden de 4.000 obreros, de los cuales 2.300 estarán en el sector francés.

Esta gran obra se halla prácticamente terminada; y, aunque el llenado completo del embalse del Mont-Cenis está previsto para 1970, los primeros ensayos de puesta en marcha han podido llevarse a cabo en el transcurso de las últimas semanas de 1968.

La red de los acondicionamientos río arriba, destinados a la agrupación de las aportaciones y a su conducción hasta el lago del Mont-Cenis, consiste, sobre todo, en trozos de galerías de pequeña sección, convergentes hacia una galería principal.

Las secciones excavadas están comprendidas entre 6 y 14 m², lo que no ha permitido la puesta en obra de un material de perforación pesado, salvo en dos o tres porciones del avance.

De una manera general, la solera de estas galerías ha sido revestida y solamente las zonas de mal terreno han sido enteramente hormigonadas.

Para la excavación de estas galerías se han utilizado martillos con pulsadores, alguna vez con una plataforma sobreelevada para minar en corona.

La carga de escombros se llevó a cabo mediante palas Eimco 21 ó Salzgitter, con transporte hasta la descarga exterior por trenes Salzgitter, o vagonetas «Iron car», y tractores eléctricos con acumuladores circulando sobre vías con anchura de 0,60 m, con garaje cada 500 m, para el cruce de vagones llenos y vacíos.

Los terrenos recortados eran pizarras calcáreas, o bien esquistos tectonizados, margas, arcillas arenosas, pertenecientes a formaciones de morrenas glaciares. La estratificación subhorizontal de las pizarras calcáreas hizo necesario un bulonaje muy tupido, con una media de tres bulones de anclaje por metro lineal.

En otros puntos fueron yesos, anhidritas masivas y camiolas, cuyo comportamiento resultaba aún más incierto cuanto más grande era la sección excavada.

La galería principal de recogida y conducción (14 m² de sección) ha sido excavada, a lo largo de 5.500 m, por una máquina de tipo continuo «Robbins», en roca dura, a título experimental (en una porción de Averole, orilla izquierda), mientras que en la parte de Averole, orilla derecha, se ha utilizado un jumbo Secoma, equipado con cinco martillos sobre deslizadoras.

Dado que todos los torrentes arrastran enormes cantidades de aluviones, particularmente en el momento de las crecidas correspondientes al deshielo, las presas de agua son automáticas con estanques de decantación cuya misión es la de retener las aportaciones sólidas antes de la admisión en la galería.

Los estanques de decantación, o «desgravadoras», son limpiadas periódicamente por corrientes de agua, efectuándose la demanda de dichas corrientes sin vigilancia alguna.

La traída del agua desde el lago del Mont-Cenis hasta la central de Villarodin se hace por galería en carga.

La presión interior correspondiente al nivel estático máximo del embalse del Mont-Cenis es de 90 m sobre el eje, en el extremo de río arriba, y de 130 m sobre el eje, en la extremidad de río abajo, en el punto de encuentro con el origen de la conducción forzada.

La galería es de sección circular; enteramente revestida, en principio, con un simple anillo de hormigón, para asegurar un verdadero perfil hidráulico de la sección bruta de perforación, mientras que en las zonas de peor terreno ha sido revestida de hormigón armado autorresistente.

Además, al atravesar los terrenos permeables, los blindajes metálicos han sido puestos en su lugar.

La excavación teórica tiene sección de herradura de 19,10 m² y el desagüe es de forma circular, con diámetro de 4,30 m, o sea, con sección revestida de 14,60 m².

Las formaciones geológicas sucesivamente recortadas por los 18 km de galería, han sido las siguientes:

- 2.600 m de pizarras de aspecto brillante;
- 8.000 m de gneis;
- 2.800 m de cuarcitas con pizarras verdes, y algunos tramos de roca triturada por los movimientos tectónicos;
- 600 m de camiolas, yeso, anhidrita y calizas triásicas;
- 3.600 m de pizarras de aspecto brillante.

El trazado óptimo de la galería fue determinado después de un detenido estudio geológico y correspondientes sondeos de verificación. La perforación y el revestimiento de la galería ha dado lugar a tres lotes:

- A) Un lote, río arriba, de 3.120 m, atacado en el punto denominado «La Barrière», correspondiente a la presa en el lago del Mont-Cenis.

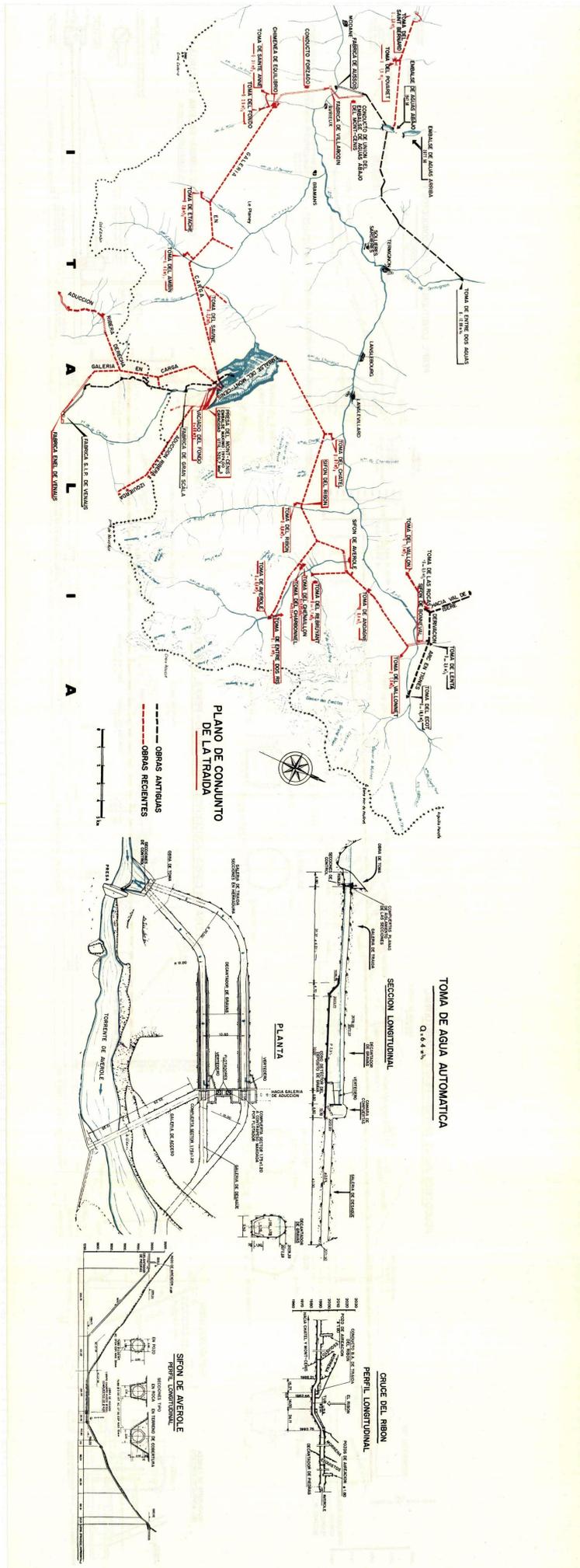
Es de notar que este lote acompañaba al de la construcción de la presa.

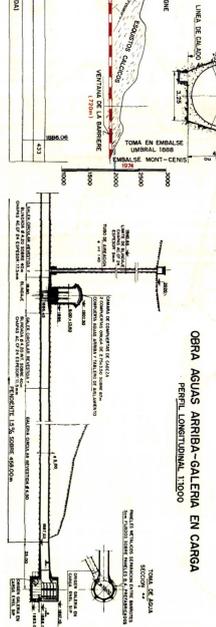
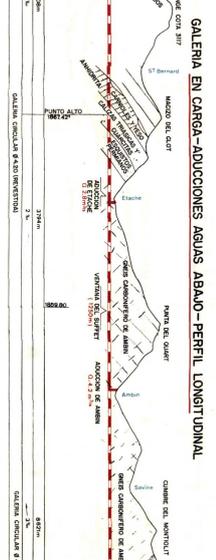
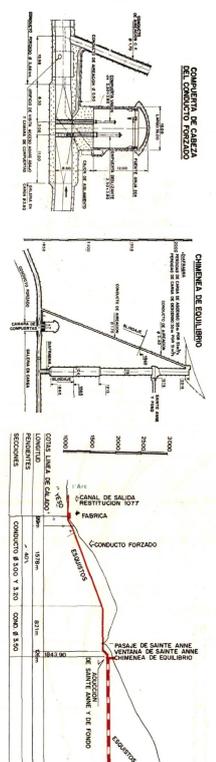
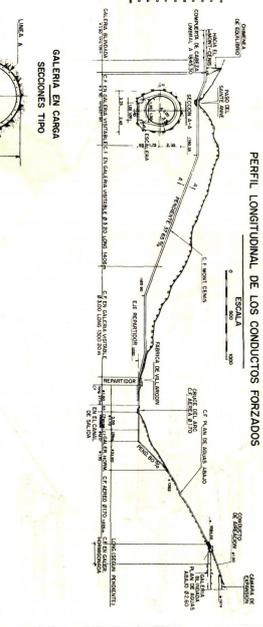
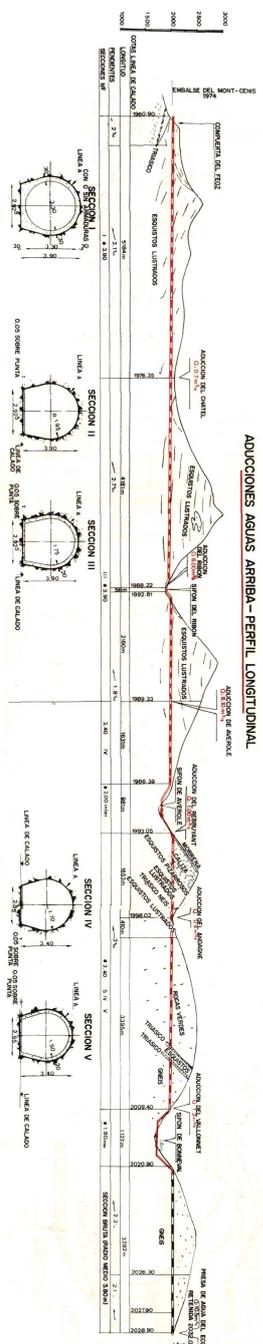
- B) Otro lote intermedio, de 9.631 m, en dos ataques realizados desde la ventana del Suffet. Así, han sido ejecutadas perforaciones de la galería de 5.850 m hacia aguas arriba y de 3.781 m hacia aguas abajo.

- C) Un tercer lote, río abajo, de 4.815 m, realizado desde la ventana de Sainte Anne.

El estudio de la ejecución de la perforación del lote B), cuya longitud es la más importante, fue sometido a consideraciones y conclusiones ya emitidas a propósito de la perforación de la galería de Candes, dado que ha sido utilizado un material semejante.

Los ataques, río arriba y río abajo, han sido desarrollados en un macizo de gneis poco acuífero.





El buzamiento de la roca ha necesitado, no obstante, el tener que colocar frecuentes cinturones metálicos ligeros Toussaint-Heinzmann, pero, más a menudo, simples bulonajes con enrejados metálicos, o chapas perforadas.

Los ensayos de gunitado (hormigón proyectado) fueron efectuados a título experimental, es decir, sobre la roca misma, o sea, sobre los enrejados metálicos destinados a evitar la caída de las piedras en la galería.

Una zona de pizarras tectonizadas y una zona de camiolas del Trías han producido manantiales del orden de 100 l/h, bajo una presión superior a los 16 bares. Las perforaciones practicadas en el reconocimiento han provocado una crecida de hasta 300 l/h, con una disminución de presión de hasta 2 bares.

Un apoyo pesado ha sido colocado al atravesar la zona de terrenos malos.

La perforación ha sido realizada por un jumbo Secoma de cuatro brazos, llevando cada uno un martillo pesado sobre deslizaderas, y un perforador de gran diámetro.

Cada voladura se hacía con sesenta agujeros, y tres agujeros secantes para el tapón tipo Coromant. El tiempo de perforación del conjunto del plano de tiro era de 90 minutos, necesitando 75 minutos suplementarios para la carga del explosivo y el tiro.

Los martillos consumen cada uno 9 m³/min y el gran perforador 19 m³, o sea, en total, 53 m³/min, y una potencia de compresión de 500 CV.

La altitud (superior a 1.800 m), y el hielo en las conducciones de alimentación de aire comprimido, durante el invierno, exigen un consumo de aire más elevado (90 CV suplementarios).

Los jumbos Secoma son bien conocidos; el lector podrá remitirse a nuestros estudios sobre estas máquinas de perforación, publicados en anteriores artículos de Informes de la Construcción.

Para los escombros se utilizó la pala EIMCO 40 vertiendo en un Sotim-car (convoy-acumulador), el cual carga a su vuelta en vagonetas Arbel de 3.600 l de capacidad, con basculación lateral.

Las vías, con separación de 0,76 m, están construidas a base de raíles de 20 kg/m, sobre traviesas metálicas.

El remolque de los vagones llenos hacia el lugar de descarga está asegurado por una locomotora Berry-Diesel Deutz de 68 CV, con transmisión por un par de convertidores; los motores van equipados con depuradores de gases de escape. Tres convoyes de diez vagonetas están en servicio.

Sobre la solera, cuatro raíles equidistantes determinan tres vías paralelas.

La pala EIMCO 40 circula por la vía central y el Sotim-car sobre la de la derecha.

Las vagonetas vacías, que esperan sobre la vía de la izquierda, son llevadas detrás del Sotim-car por medio de un cable enrollado sobre un torno maniobrado desde el ya citado Sotim-car. Estas vagonetas realizan un cambio de raíl para pasar de la vía izquierda a la vía derecha y se apoyan sobre un gato (boxeador) que las coloca por medio del torno. Cuando una de ellas está llena, el boxeador (de aquí su nombre) las empuja y las envía al convoy de las llenas.

Cada vagoneta lleva su cable, el cual es enganchado seguidamente a una vagoneta vacía. Esta operación reduce el personal de desescombro a solamente cinco hombres.

En conjunto, la duración total de un ciclo de perforación, tiro y desescombros no excede de 6 horas, y es posible hacer cuatro voladuras por día.

La organización sobre dos frentes de ataque opuestos permite un avance global de 18 metros/día.

El ataque de Sainte Anne, del lote C), ha sido accesible gracias a una pista de 3,50 m de anchura y 8 km de longitud, y a un telesférico de 1.400 m y 2 t de carga máxima, que pasa de la cota 1.240 m a la 1.840 metros.

Cada voladura en frente lleva 65 agujeros de 4,80 m de longitud y un gran agujero central de 7 pulgadas (177 mm), haciendo el papel de tapón Michigan, no cargado de explosivos. El agujero central es realizado por una perforadora Ingersoll DHD 400. Los martillos que aseguran la perforación de los agujeros, de 38 mm de diámetro, son del tipo Atlas Lion, de 31 kp y velocidad instantánea de 0,70 m/min (tren de extracción Borie).

La duración media de un solo ciclo de perforación del conjunto del esquema de tiro no ha excedido jamás de 90 minutos; la duración de la carga y del tiro, de 60 minutos.

Calculada para un año entero, la media de avance ha sido de 12 m/día, o de 300 m/mes.

Los mejores tiempos realizados en las circunstancias más favorables han sido de 16,85 metros/día o de 333 m/mes, dando cada voladura un avance medio de 3,80 metros.

La duración media de un ciclo completo ha sido de 6 h 35 min (perforación, tiro, ventilación, extracción de escombros).

El hormigonado se efectúa cuando todo el lote de perforación ha sido acabado, utilizándose para ello el método clásico de preparación del hormigón en el exterior y transporte por la galería hasta los encofrados, con el auxilio de dos convoyes de tres «Trux-mixer Richier» de 3 m³ cada uno.

La chimenea de equilibrio está constituida por un pozo blindado vertical, de 11 m de diámetro en la base por 55 m de altura; dicho diámetro se reduce a 7,25 m en los 109 metros superiores.

El blindaje metálico alcanza los 25 m de altura a partir de la base del pozo.

Las válvulas de vigilancia de la conducción forzada están situadas inmediatamente río abajo.

Finalmente, río abajo de dichas válvulas, hay un pozo-válvula de 1,70 m de diámetro, y de 176 m de altura, inclinado, que tiene por misión airear la conducción forzada y evitar su eventual puesta en depresión, constituyendo, por otra parte, un dispositivo anti-ariete en el caso de corte de consumo transitorio de la presa que alimenta el salto de Aussois, hacia la presa del Mont-Cenis. Este pozo-válvula está blindado hasta su nivel estático.

Las aberturas han sido ejecutadas durante su montaje, es decir, atacando por lo bajo; los terrenos atravesados permiten esta técnica, con aplicación del material Alimak y los Stoppers Montabert.

Con longitudes perforadas de unos 60 m se obtenía en cada voladura una progresión ascendente del orden de 0,50 a 0,80 metros.

Los pozos inclinados de la conducción forzada, con un 37,65 % de pendiente, han sido perforados en dos trozos: uno, inferior, de 1.007 m, atacado a la cota 1.163 por una ventana de 709 m, y otro superior, de 679 m de longitud, atacado a la cota 1.518 por una ventana de 735 metros.

La sección excavada es de 5,5 m².

La perforación ha sido asegurada por tres martillos Atlas Lion BBC de 37 kp, sobre resorte neumático, para voladuras de 2,40 m, tapón Coromant.

Este tipo de tapón presenta la ventaja de aumentar la fragmentación de los escombros, consideración muy importante cuando se adopta evacuación hidráulica.

Las cargas de explosivo (3,1 a 3,3 kg de goma/m³) eran preparadas en el exterior e introducidas en tubos de plástico de color diferente según la posición de la voladura.

Los escombros han sido de naturaleza variada en toda la longitud excavada: calizas dolomíticas, anhidrita, pizarras bruñidas laminables o, al contrario, muy calcáreas.

En el pozo inclinado, los escombros de cada voladura eran rascados por scraper con cables JOY de 15 CV, con cangilón de 300 l, y aire comprimido como fuerza motriz.

Estos escombros son transportados por una tolva, situada encima de la boca de evacuación (de 0,80 × 0,60 m en palastro de 3 mm), anclada en la roca.

Las demandas de agua necesarias para la evacuación de los escombros han variado de 3 a 10 l/s, según la naturaleza de estos últimos.

En la parte inferior del pozo, es decir, por bajo de la boca, los escombros eran recogidos en una tolva de 25 m³, de donde eran cargados en vagonetas de 1,80 m³ de capacidad. Han aparecido algunas dificultades originadas por la decantación de fangos colmatantes (finos de anhidrita).

En lo que se refiere a la colocación de la conducción forzada, las incertidumbres relativas a la duración de los aceros en la anhidrita han conducido a no bloquear la conducción en la roca, al menos en las zonas de anhidrita.

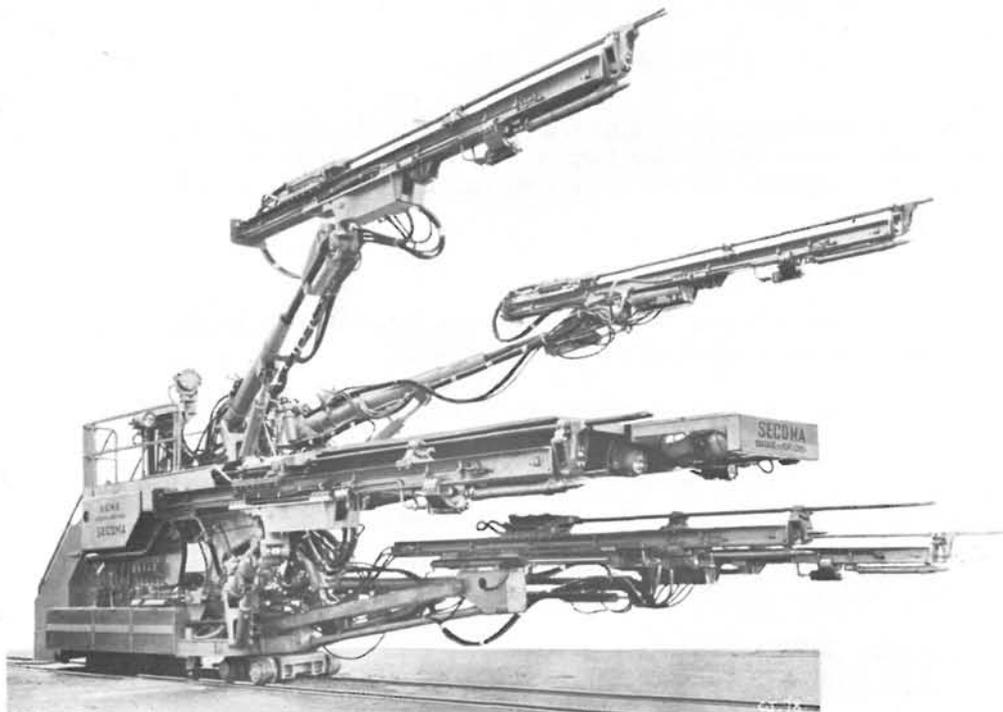
La experiencia nos ha demostrado que el precio del hormigón de blocaje, aun siendo más caro que un contraperfil de excavación para dejar la conducción libre en toda su longitud, resulta una solución que es, a la vez, la más fácil y la más segura.

La presa del Mont-Cenis constituye la pieza principal de este acondicionamiento. La elección de su emplazamiento ha permitido reducir su volumen, asegurando la mejor cimentación posible sobre un espolón rocoso.

Es del tipo tierra-rocas; altura máxima, 120 m, y coronación a la cota 1.980.

Su longitud es de 1.400 m por un espesor de cerca de 500 m. Su volumen es aproximadamente de 14,4 millones de m³: 7,1 millones de m³ de rocas, 6,6 mm³ de tierra, y 0,7 mm³ de filtros. La cota del embalse normal es 1.974 metros.

Las rocas, los filtros y el núcleo están emplazados sobre pizarras calcáreas, relativamente sanas y estancas, salvo en un escaso tramo en la orilla izquierda, donde la presa viene a enlazarse con un cono aluvionario que recubre una banda del Trías.



Jumbo de perforación Secoma.

Aparte de la estabilidad de la obra, era indispensable reducir los eventuales asientos diferenciales susceptibles de comprometer la estanquidad río arriba.

Las excavaciones generales fueron realizadas en 1963, y las operaciones sucesivas han sido las que siguen: escariar la roca con el escarificador; extracción por tiros de minas bajo el núcleo; lavado con chorro de agua y con chorro de aire comprimido, para preparar la superficie de contacto; lavado de las fallas y fisuras puestas en evidencia; y relleno con hormigón fino vibrado. Para fijar ideas diremos que han sido empleados, sobre una superficie de 50.000 m², alrededor de 5.600 m³ de hormigón de calafateo.

Sobre toda la superficie de la zona así tratada ha sido colocada a mano, con pala, una capa de arcilla poco plástica de 0,10 a 0,15 m de espesor; además, sobre toda la cimentación del núcleo se ha colocado una capa de tierra cribada con un espesor de 0,50 m y compactada con rodillos de 8 Mp, sin vibración.

Las inyecciones de la roca de los cimientos han consistido en un velo profundo, un tratamiento de superficie e inyecciones especiales «orientadas».

La lechada de cemento, más o menos rica, contenía un 2 % de arcilla en peso, aproximadamente.

Un jumbo Secoma.

Detalle de un jumbo de perforación Secoma.

Jumbo a la entrada de una galería.





Conjunto pala/Sotim-car para cargar los escombros de un tiro.

Las perforaciones sobre una misma alineación —que constituían un velo profundo— han sido colocadas en la roca, hasta una profundidad correspondiente, y en cada punto de implantación, de 30 m como mínimo y, más generalmente, a una cota correspondiente a la mitad de la altura de agua del futuro embalse en el punto considerado.

Los agujeros han sido perforados con wagon-drill, de 55 mm de diámetro, e inyectados en etapas sucesivas bajo una presión creciente según la profundidad, es decir, 1 kp/cm² por metro, con máximo de 35 kilopondios.

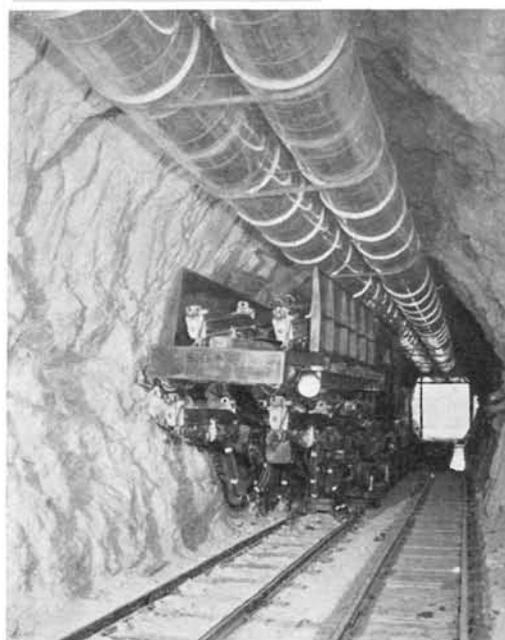
Este trabajo se hizo con mucho cuidado, ya que, si bien es relativamente fácil obtener un núcleo de tierra bien estanco y una perfecta ligazón de superficie con la roca de cimentación, el problema para una presa de tierra consiste en prolongar esta estanquidad hasta suficiente profundidad en el macizo rocoso subyacente.

La técnica francesa de inyecciones adopta presiones bastante elevadas y se opone en este punto a la técnica americana, mucho más moderada. La controversia prosigue por otra parte a propósito de las inyecciones de pequeña profundidad, por ejemplo de 3 a 10 m; mientras que para las presas de hormigón el método clásico consiste en no ejecutar las inyecciones de contacto más que cuando la carga de hormigón es de varios metros, dado que una carga de algunos metros de tierra ofrece indiscutiblemente una eficacia menos evidente.

Como siempre, la estanquidad está controlada por los ensayos de absorción. Se trata, en caso de necesidad y cerrando de antemano la red de perforaciones, de realizar un caparazón estanco que se oponga, después de ponerlo en el agua, a toda migración y

Un jumbo Secoma en la salida.

Un jumbo aparcado debajo de los conductos de ventilación.





Ejecución de una escollera y del terraplén de tierra (28-IX-68).

arrastre de los finos del núcleo, de donde, a pesar de todas las precauciones, un mal colmataje de una red de fracturas abriría un camino seguro al agua del embalse, o de capas vertientes.

Ninguna diferencia sensible ha sido observada entre la absorción de un agujero perforado con wagon-drill, y un agujero vecino realizado con una sonda rotativa. De la misma forma, una inyección previa de silicato de sodio no ha mejorado la penetración de la lechada de cemento-arcilla, ya que la arcilla realizaba, por sí misma, el papel de lubricante.

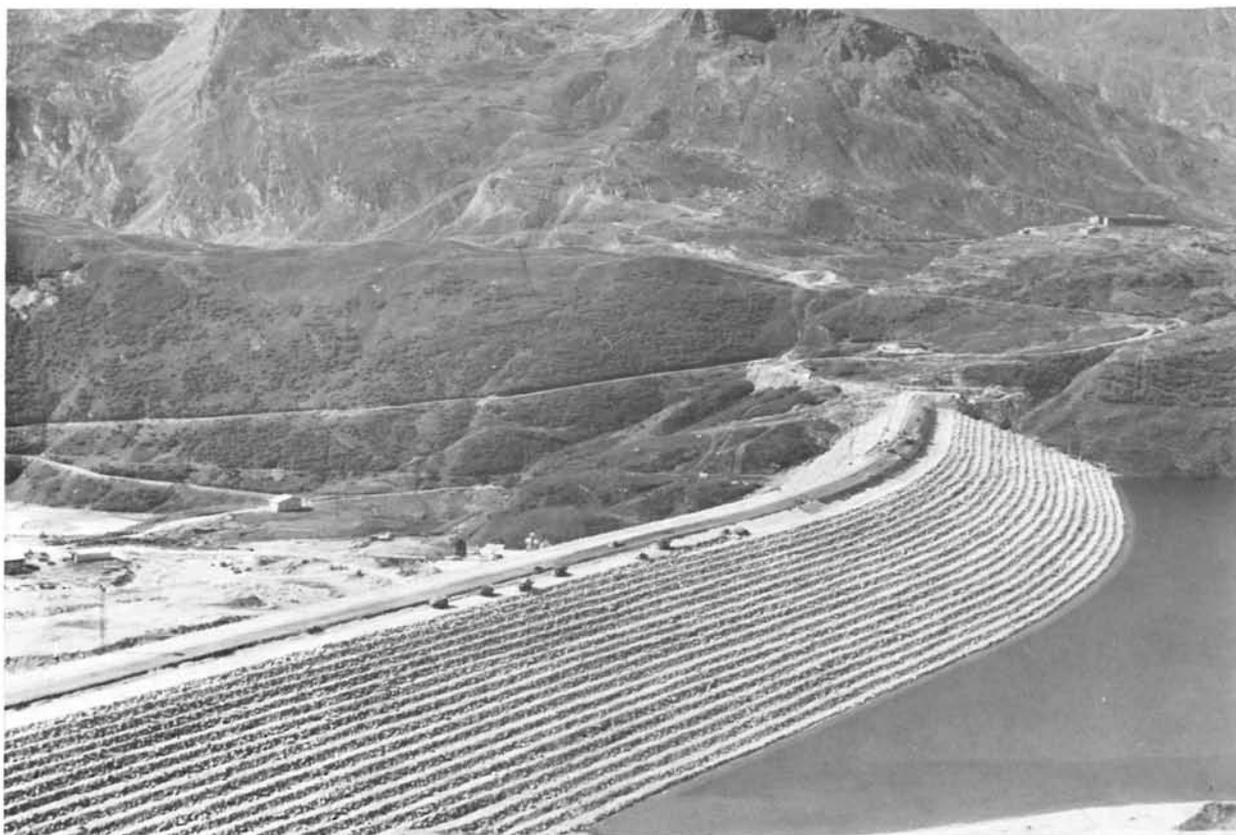
Una buena precaución consiste en cerrar cuidadosamente con mortero todos los agujeros de inyección, puesto que la decantación de la lechada de cemento deja siempre un vacío en la cabeza de la perforación. Con el tiempo, una comunicación por estos vacíos puede establecerse con fisuras mal colmatadas.

¿Por qué se ha escogido una presa de tierra y rocas? Podría haber convenido una presa de bóvedas múltiples adaptada al lugar de ubicación y se habría podido prolongar por un pequeño dique de tierra sobre la orilla izquierda; pero, dado que la mano de obra cualificada para tal obra de hormigón es cada vez más escasa, y, por otra parte, que la mecanización de obras con grandes máquinas de nivelación permite remover enormes volúmenes a precios relativamente bajos, han determinado finalmente su elección.

Las rocas han sido parcialmente adoptadas en el Mont-Cenis por temor de no poder encontrar in situ los enormes volúmenes de tierras necesarios.

En nuestros días, el costo de las rocas puestas en obra se halla muy próximo al de los terraplenes terrosos.

La presa está, por tanto, constituida por un macizo de estabilidad de rocas, río abajo, autoestable y muy permeable, y de un macizo de tierra, río arriba, con un núcleo inclinado estanco que se apoya sobre el preferente.



Terraplén prácticamente terminado con la coronación a la cota 1.979 (9-IX-68).

Fotos: J. LEGER

Una recarga río arriba, las zonas de transición (filtros), y una protección rocosa aguas arriba completan la obra.

La zona aguas arriba, en contacto con el núcleo, encajona la mayor parte de la prolongación del embalse; ha sido puesta en obra cuidadosamente, por capas compactadas de 1 m, con bloques de rocas de dimensiones inferiores a 1 metro.

La zona aguas abajo, en recarga, fue puesta en obra a base de capas compactadas de 2 m, con bloques de tamaño inferior a 2 metros.

En el momento de la colocación, todas las rocas son regadas ($0,5 \text{ m}^3$ de agua por m^3) y cada capa es sistemáticamente compactada con seis pasadas de un rodillo vibrador de 8 megapondios.

El dimensionamiento de los bloques de rocas, impuesto por el Cuaderno de Cargas EDF, con el fin de garantizar una buena compacidad ulterior sobre el cuerpo de la presa, ha exigido, para el abastecimiento desde la cantera de estos materiales, la adopción de un plano de tiro muy estudiado.

Por otra parte, la granulometría de las rocas tenía que ser bastante continua a fin de conseguir una compacidad suficiente. En resumen, las rocas deben ser las precisas.

En cantera, la producción ha sido realizada para $5.000 \text{ m}^3/\text{día}$ por término medio y, sólo excepcionalmente, se ha podido alcanzar el equivalente a $300.000 \text{ m}^3/\text{mes}$, a razón de $20 \text{ h}/\text{día}$.

La perforación está asegurada por gradas de 10 a 15 m de altura, con la ayuda de tres perforadoras Gardner HDC, trabajando a base de un diámetro de 142 mm, con una perforación cada 22 ó 26 m^2 .

Las voladuras están cargadas a granel con nitrato + fuel-oil, con el 10 al 12 % de cartuchos de tolamita, cuyo explosivo sirve a la vez como excitador de AN + FO, y mejora su fuerza rompedora.

Las voladuras de 2 t de AN + FO abaten 60.000 m³ de pizarra calcárea con densidad 2,7.

Las cargas en cantera están efectuadas por tres palas eléctricas, de las cuales dos son tipo Marion 151 M con tolva de 4,5 m³, y una Bucyrus 150 B con tolva de 5,3 m³.

Dieciocho dumpers Haulpack de 50 Mp de carga útil con motores GM, tres dumpers Berliet T.45 de 50 Mp de carga útil y tres dumpers Berliet T.25 de 30 Mp, todos ellos equipados también con motores GM, aseguran el transporte entre cantera y presa.

Los dumpers Haulpack tienen un peso total de 90 Mp en carga. Su rodaje, el de los camiones Berliet, y las seis pasadas sistemáticas de un rodillo vibrador de 8 Mp, dan, a las capas sucesivas de rocas, una compactación satisfactoria.

El rodillo vibrador ABG o BROS de 8 Mp es arrastrado por un Carterpillar D 8.

Es conveniente observar que con este rodillo vibrador de llanta metálica lisa, los resultados obtenidos son, al final, mejores que los que proporcionan los rodillos neumáticos de 50 Mp o de 90 Mp utilizados en otros casos, a pesar de originar un aumento seguro en la proporción de finos que provienen del aplastamiento de las aristas de las rocas.

El riego superficial, a baja presión, de la capa cuya compactación acaba de ser terminada —precisamente antes de colocar en su lugar las rocas de la capa siguiente— es suficiente, en general, para arrastrar estos finos a los intersticios que existen entre las rocas subyacentes. Se puede dar el caso también de que la superficie presente un aspecto tal que necesite la pasada de un escarificador antes del riego.

La capa sobre la cual se han efectuado los préstamos de tierras ha sido reconocida, hasta unos 40 m de profundidad, a lo largo de toda una serie de pozos, escalonados cada 20 m en los 500 metros.

Se trata de explotar un cono de aluviones torrenciales, por largas bandas horizontales en escalera. Esta tierra se caracteriza por una granulometría bastante continua y conveniente en la fracción 0-150 mm; sin embargo, es poco plástica, contiene escasos finos, y se revela relativamente sensible a los asientos diferenciales.

En caso de tierras pedregosas, el esparcimiento de los botton-dumpers viene acompañado de una segregación a cada lado de los cordones, al pie del talud; y salvo en el caso de prever un batido sistemático, la nivelación con bulldozer corre el riesgo de cubrir los cordones en vez de dispersarlos. El empleo de niveladoras se ha considerado preferible al de los botton-dumpers.

Se sabe por experiencia que la dosis de agua más favorable para estas tierras es la que se acerca más a la humedad natural. En el caso del Mont-Cenis, las tierras extraídas pueden ser colocadas en obra sin humedecimiento complementario, ni secado previo, lo que simplifica el ciclo de trabajo.

La segregación de los elementos pedregosos ha tenido que ser muy atendida, en razón del riesgo de una continuidad hidráulica entre las acumulaciones de piedras (camino preferentes posibles, aumento de la fuga, erosión interna eventual).

En el caso de estos aluviones no ha podido proponerse ninguna técnica segura dada la experiencia de obras anteriores construidas y, por este motivo, la solución adoptada reviste cierto aspecto empírico.

En el Mont-Cenis se han constituido en permanencia dos stocks de 15.000 m³ cada uno, que corresponden a dos puestos de trabajo. Una parte de las tierras ha sido cribada con Loader-Kolman.

Cada stock es sucesivamente homogeneizado (lechos de tierras puestos horizontalmente en depósito y nivelados por el bulldozer), controlado desde el punto de vista de su uniformidad granulométrica y luego recogido oblicuamente con el rascador, para ser cargado en el camión y transportado al macizo.

Los filtros se obtienen por trituración de materias de canteras; son colocados, después del riego, en capas de 0,40 m, y compactados con dos pasadas del rodillo vibrador.

La parte principal de los 800.000 m³ de filtros se coloca a base de calibres 0-15 y 15-200 milímetros.

El período de heladas a 2.000 m de altura dura seis meses, lo que hace necesario el estudio del plan de ejecución, con todas las previsiones.

La experiencia adquirida en la presa de Mont-Cenis, cuyo final está previsto para 1969, ha dado y dará todavía enseñanzas muy interesantes, útiles para los nuevos progresos de la técnica.

La medida de las deformaciones del núcleo de tierra con la ayuda de inclinómetros y los desplazamientos en diversos puntos escalonados en toda la altura de la obra, facilitarán la explicación de las deformaciones en el interior de un macizo mixto de tierras-rocas.

No hemos podido dar aquí más que un breve repaso de los medios y métodos puestos en obra para la construcción de esta obra considerable por su fin y por sus proporciones.

La limpieza del embalse del Mont-Cenis y la evacuación de las aguas han sido previstas, en parte, hacia la vertiente del Arc y en parte hacia la vertiente italiana. Esto equivale, en las mejores condiciones, a 185 m³/s del lado francés y a 60 m³/s del lado italiano.

El descenso del plano del agua entre la cota máxima 1.974 y la cota 1.930 corresponde a un volumen de 255,5 millones de m³, para cuya evacuación se necesitan, al menos, diecisiete días y medio.

Del lado francés se utiliza la galería en carga descrita anteriormente, que está prevista para poder evacuar 185 m³/s en caso de necesidad.

Una parte del consumo puede ser turbinada por la central de Villarodin, y los 134 m³/s restituidos durante el transcurso de la ruta en el barranco de Ambin, afluente del Arc.

Sin embargo, esta última restitución está preparada para dejar escapar la totalidad del consumo, o sea, 185 m³/segundo.

Del lado italiano pueden ser evacuados 60 m³/s para la limpieza de fondo y turbinados en la central italiana de Venaus.

Esta última no interviene más que para compensar la reducción del consumo de la limpieza del fondo, a medida que desciende el plano de agua en el lago.

Un detalle digno de ser mencionado a propósito de la galería en carga que evacúa hacia la vertiente francesa es: que está dotada de una toma de agua doble, lo cual le permite prácticamente evacuar los 185 m³/s, a pesar de la obstrucción eventual de una de ellas.

De una manera general, la colaboración franco-italiana ha sido fructuosa y magnífica, y realmente la obra no hubiera sido posible sin tal entendimiento.

Les travaux d'aménagement de la chute du Mont-Cenis

Georges Vié, ingénieur des mines

Cet article décrit les travaux d'aménagement de la chute du Mont-Cenis, qui ont permis d'augmenter, de 32 à 320 millions de m³, le volume utilisable du nouveau barrage du Mont-Cenis, assurant un stockage d'une énergie potentielle de 650 milliards t/m.

Le projet de l'EDF (Electricité de France) ramène, dans la grande retenue, les eaux captées au moyen d'un réseau de 28 km de galeries de sections variables. La galerie en charge, de 18 km de longueur, est équipée pour un débit de 51 m³/s, avec un diamètre compris entre 4 et 5 m.

La nouvelle centrale de Villarodin est alimentée par une conduite forcée de 3,6 km de longueur et de 3 m de diamètre. Celle-ci a été posée dans un puits incliné à 35 % pour l'isoler de la nature des terrains (particulièrement gypse et anhydrite), et son poids dépasse 10.000 tonnes, ce qui constitue un record, au moins en Europe.

La centrale comprend deux groupes verticaux à turbine Pelton de 195 MVA chacun, ayant une productibilité de 485 millions kWh.

The civil engineering work connected with the Mont-Cenis hydroelectric project

Georges Vié, mining engineer

The new dam at Mont Cenis has increased to water volume in the reservoir from 32 to 320 million m³ and provides a potential energy of 650.000 million Mp · m.

This article describes the work involved in the construction of this project. Among other features, the water has been led to the reservoir along a network of varying cross-section, and of 28 km total length. The pressure conduit has been designed for a flow rate of 51 m³/s, its diameter varying between 4 and 5 m.

The new power stations at Villarodin are fed by a pipe 3.6 km in length and 3 m in diameter. This conduit runs along a trench and is isolated from the ground, because of the gypsum and anhydrites contained in the soil. Its weight is 10.000 Mp, which is a European record.

The power station comprises to vertical Pelton turbines of 195 MVA each, and a yearly output of 485 kWh.

Erhöhung des Fassungsvermögens des Staudamms von Mont-Cenis

Georges Vié, Bergbauingenieur

Das Fassungsvermögen des neuen Staudamms von Mont-Cenis hat sich von ursprünglich 32 Millionen auf 320 Millionen m³ erhöht, womit er nun eine potentielle Energie von 650.000 Millionen Mp · m liefern kann.

In diesem Beitrag werden die dazugehörenden Arbeiten beschrieben. So z.B. wurde das gewonnene Wasser durch ein Netz von Leitungen insgesamt 28 km lang mit verschiedenen Querschnitten dem Staudamm zugeführt. Die zwangsläufige Streckenführung von 18 m Länge sah einen Strom von 51 m³/s vor bei einem Rohrdurchmesser von 4-5 m.

Villarodins neue Zentralen werden von einer 3,6 km langen Leitung von 3 m Durchmesser gespeist. Diese Leitung ist in einem Schräggraben verlegt, um sie vom Boden (hauptsächlich aus Gips und Anhydriten bestehend) zu isolieren. Sie wiegt 10.000 Mp, was einen europäischen Rekord darstellt.

Die Zentrale hat zwei vertikale Pelton-Turbo-Gruppen von je 195 MVA mit einer Leistung von 485 Millionen kWh.