

REVISTA EXTRANJERA

Influencia de la presión atmosférica, de la temperatura exterior y de la de las rocas en la temperatura del aire durante la perforación de un túnel.

Las estaciones de los equipos en la construcción de los túneles son relativamente poco importantes y están casi sin comunicación con el aire exterior. Cuanto más avanzan en el ataque de la montaña, menos equilibrada está su temperatura con la del aire exterior.

La respiración de los hombres y de los animales ocupados en las obras, la combustión de los tejidos animales, el empleo de las luces y de los explosivos y de la energía eléctrica actúan sobre el calor del aire encerrado en el túnel de modo que es más elevado que si el trabajo se verificara al aire libre. Sin embargo, la influencia de estos manantiales de calor es relativamente de mediana importancia; contribuyen sobre todo á viciar el aire, pero las influencias caloríficas verdaderamente predominantes son las de la presión del aire, del calor exterior y del calor propio de la roca.

La presión del aire no es la misma en todas las partes del avance, es particularmente variable en los pozos, con la profundidad se originan variaciones en la densidad y en la capacidad calorífica. Si la corriente de aire pasa de una capa más elevada á una capa más profunda en el seno de un espacio ilimitado, su calor crece en 1° C. para 100 metros, mientras que el enfriamiento si sube en sentido inverso no es más que la mitad, á causa de la condensación bajo forma de bruma, de la humedad de las estaciones.

Las relaciones son diferentes para las galerías inclinadas y los pozos donde no se está en presencia de un espacio ilimitado, la humedad de las paredes, la rapidez de los movimientos de los hombres y de las máquinas cambian entonces las proporciones.

El calor exterior actúa particularmente en las galerías cortas. En los túneles largos su influencia no se ejerce más que en la proximidad de sus extremos, se traduce por oscilaciones según las horas del día y las estaciones del año, y será tanto más apreciable en el túnel cuanto que el flujo del aire fresco es más fuerte y el calor abandonado por la roca es menor.

En el túnel del San Gotardo las estaciones hasta las cuales penetraba el calor exterior estaban, antes de la perforación, á 3.000 metros de la boca meridional y á 1.000 de la septentrional.

Unos gráficos indican cómo se ha repartido el calor en el túnel del Simplón á diversas distancias de la boca del túnel, durante los años de la construcción, la diferencia correspondiente á las estaciones es muy sensible del lado septentrional y del meridional, á 500 metros de las bocas; el primer trimestre dió siempre el minimum, el tercero el maximum, la regularidad de las alternativas se reconocía todavía á 1.000 metros de la boca.

El límite al cual esta influencia es perceptible varía con los años y depende en primer lugar de la intensidad de las acciones climatológicas. En la boca septentrional se comenzó á inyectar, en 1901, 14,880 metros cúbicos de aire por segundo, el efecto del exterior no se reconocía con certidumbre más que hasta 1.000 metros. Hacia fines de 1901 el volumen del aire inyectado se duplicó y la regularidad de las variaciones para los segundos, terceros y cuartos trimestres pudo proseguirse hasta 3.000 metros. En 1902 la influencia se extendió hasta 3.000 metros con un envío de aire de 24 hasta 34 metros cúbicos por segundo. En 1904 llegó hasta 6.000 metros para un caudal de 27 á 34 metros cúbicos.

Las corrientes de aire experimentan serias perturbaciones bajo la acción de los manantiales calientes ó de filtración que envían aguas de 48 á 50° C. y elevan la temperatura del subterráneo.

La temperatura propia de la roca actúa generalmente en sentido inverso de la temperatura exterior y puede dar lugar á dificultades insuperables.

El cuadro siguiente da las temperaturas más elevadas que se han observado en diversos túneles:

NOMBRE DEL TÚNEL	Longitud. — Metros.	Altura del terreno sobre el túnel. — Metros.	Temperatura máxima de la roca. — Centígrados.	Temperatura máxima del aire.
Simplón.....	19.770	2 160	56°	34° (1)
Lötschberg.....	14.535	1.569	34°	30°,3
San Gotardo.....	14.998	1.706	30°,4	30°,6 (3)
Mont-Cenis.....	12.233	1.654	29°,5	30°,1
Ricken.....	8.604	572	25°,4	24°,8
Tauern.....	8.526	1.567	23°,3	»
Arlberg.....	10.250	720	18°,5	»
Albula.....	5.866	912	15°	»
Weissentein.....	3.699	499	12°,8	13°
Pfaffensprung.....	1.476	430	»	23°
Comstockgruben (Nevada)	»	600	70° próximamente.	46°,7 (4)

En las galerías de las minas de Almagrera en España se han observado en la roca y en los manantiales temperaturas de 70°.

Durante las obras de perforación con el empleo del aire comprimido ó del agua bajo presión se tiene un cierto descenso de temperatura, según observaciones hechas en los túneles del Simplón y del San Gotardo.

Tomamos lo anterior del resumen que, de un artículo del Dr. Schubert publicado en el *Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens*, hacen los *Annales des Ponts et Chaussées*.

La fábrica hidroeléctrica de la Tallassee Power C.º sobre el Yadkin River (North Carolina, Estados Unidos).

Se acaba de terminar en los Estados Unidos, en la Carolina del Norte, la instalación de una potente fábrica hidroeléctrica, notable desde diversos puntos de vista. Esta explotación hidráulica ha necesitado, en efecto, la construcción de una presa de dimensiones extraordinarias y que puede contarse entre las más importantes de las construídas en los Estados Unidos, y por otra parte, la fábrica contiene unas turbinas hidráulicas Francis de 31.000 caballos cada una que son tal vez las turbinas mayores que de este género existen en la actualidad.

La posibilidad de crear una fábrica hidroeléctrica de gran potencia en las gargantas del Yadkin River se había vislumbrado ya hace bastante tiempo y se había redactado un primer proyecto, hace quince años, por M. G. Whitney, de Pittsburgh. Este proyecto fué reproducido por la North Carolina Electric and Power C.º, que comenzó su ejecución fundando para ello la ciudad de Whitney y emprendiendo la construcción de una larga presa de mampostería. Esta Compañía tuvo que abandonar su proyecto en 1907, á consecuencia de dificultades financieras y pasó la Empresa á manos de una Sociedad francesa, la Southern

- (1) En la galería de avance 24°, en la elevación de escombros 32°,9.
- (2) Temperatura del agua, 30°,7.
- (3) La temperatura del aire llegaba algunas veces á 31°,5.
- (4) Excepcionalmente 55°,5, el trabajo debía detenerse entre 54°,4 y 57°,2.

Aluminium C.^o que se proponía instalar en esta región unas fábricas electroquímicas para la producción del aluminio.

Esta Sociedad redactó un proyecto distinto del anterior y del que formaba parte, principalmente, el abandono de la presa de piedra construida por la Compañía precedente; esta obra debía quedar sumergida bajo las aguas del depósito constituido por una nueva presa establecida agua abajo, y á cuyo pie se habría de construir la fábrica hidroeléctrica. Se evitaba así tener que crear, como en el primer proyecto, un canal de carga y unas cañerías forzadas, cuya ejecución presentaba varias dificultades. Por el contrario, la nueva presa era más onerosa. Esta presa debía tener 411,50 metros de longitud y 61 metros de altura máxima.

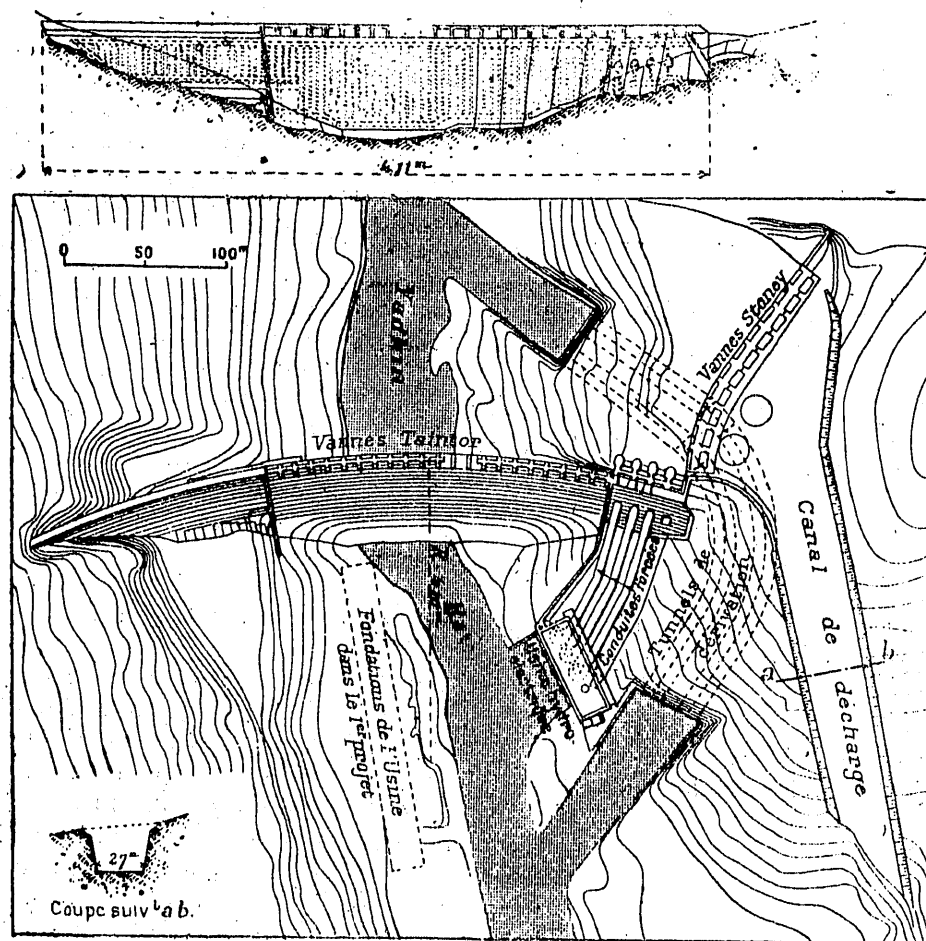
La fábrica debía contener 16 alternadores de 5.200 kilovatios cada uno.

La corriente de las crecidas se hubiera asegurado por medio

vistas: 22.000 Kilovatios en lugar de 5.200 y produciendo corriente alterna en lugar de corriente continua.

Después de estas consideraciones preliminares pasa el Ingeniero de Artes y Manufacturas M. P. Calfas, autor del artículo que extractamos y que ha sido publicado por *Le Génie Civil*, á describir en general la fábrica y á exponer algunos detalles sobre varias instalaciones que constituyen ejemplos interesantes, valiéndose para ello de las descripciones publicadas en las revistas técnicas americanas, principalmente las *Engineering News* y el *Engineering Record*.

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA FÁBRICA.—La figura 1.^a muestra la disposición general de las construcciones de la presa y de la fábrica. La primera, de mampostería, tiene, en plano, una forma curva de 511,50 metros de radio; su longitud total en la coronación es de 411 metros; su mayor anchura en la base es de 50 metros y su altura máxima sobre las fundaciones llega á 60



Figs. 1.^a y 2.^a

de un vertedero de superficie, dispuesto en la coronación de la presa en una pequeña parte de su longitud y comprendiendo 10 compuertas de regulación. A continuación de este vertedero debían encontrarse dos pozos, unidos á un túnel que hubiera llevado las aguas al lecho del río hacia agua abajo.

Este proyecto recibió también un principio de ejecución: las fundaciones de la presa y las de la fábrica hidroeléctrica estaban terminadas cuando la guerra europea obligó á la Sociedad francesa á abandonar sus trabajos. La empresa fué entonces á caer en poder de una Compañía americana que acaba de llevarla á feliz término.

Las modificaciones introducidas en el proyecto francés por los Ingenieros de la Tallassee Power C.^o, que últimamente se encargaron del negocio, han recaído en la presa misma, que se ha hecho sumergible en la mayor parte de su longitud, en la evacuación de las aguas, que se ha asegurado por un canal de descarga al aire libre en lugar de un túnel, y, en fin, en el emplazamiento y el material de la fábrica, para el cual se han adoptado unidades mucho más potentes que las primitivamente pre-

metros. La parte media de la presa, durante 195 metros de longitud, forma un vertedero de superficie, cuyo caudal se regula por 22 compuertas de sectores del tipo Taintor de $7,50 \times 3$ metros. Por otra parte, perpendicularmente á la presa propiamente dicha en la orilla izquierda, hay un canal de descarga cuya entrada está cerrada por una estructura de mampostería de 125 metros de longitud, próximamente, que comprende diez compuertas Stoney, de 10 metros de anchura cada una y cuyo dintel está á un nivel inferior al de las compuertas Taintor. El caudal combinado de los dos sistemas de compuertas se evalúa en 7.000 metros cúbicos por segundo.

La nueva sala de máquinas se ha establecido en la orilla izquierda de la presa, á la cual está unida por las cañerías forzadas, de palastro (fig. 3.^a). Los cimientos preparados para la fábrica en la orilla derecha en el proyecto francés han sido abandonados.

Presa.—Para la construcción de la presa la Compañía americana ha conservado las grandes líneas del proyecto francés. Sólo se ha modificado la coronación de la obra (figuras 1.^a y 4.^a).

No se ha tenido en cuenta el aumento de la resistencia debido á la forma curva de la obra en el cálculo de la estabilidad, se ha supuesto asegurada ésta por el peso solo de la estructura.

Como el suelo del valle es de roca muy resistente, la obra se ha fundado á poca profundidad bajo el nivel del curso de las aguas, y las fundaciones se han realizado con gran facilidad.

Según la práctica americana, la presa está construída con hormigón, al cual se han incorporado gruesas piedras.

Para permitir la dilatación de la estructura la presa está divi-

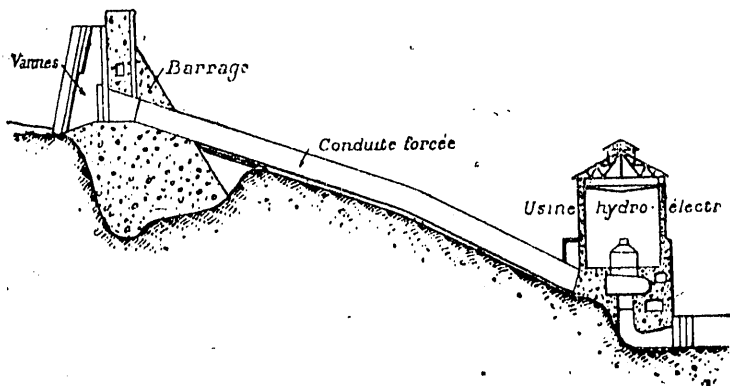


Fig. 3.ª

dida por juntas de dilatación verticales en bloques de 15 metros de anchura próximamente.

Se construyó cada bloque por hiladas horizontales correspondientes á una jornada de trabajo, y por lo menos de 1,50 metros de espesor.

Las caras verticales de las juntas llevan unas ranuras de 75 centímetros de anchura y 20 centímetros de profundidad espaciadas 1,20 metros y ajustándose de manera de asegurar la impermeabilidad (fig. 4.ª). Las caras de las juntas están enlucidas con un revestimiento á base de alquitrán, aplicado en caliente para impedir que fragüe el hormigón de las dos caras adyacentes.

En la masa de la presa se han dispuesto tres galerías de inspección: una *C* en la parte superior y otras dos *A* y *B* en la parte inferior.

La cara de agua arriba de la presa se prolonga por un muro contra derrumbamientos de altura variable, descendiendo 3 metros por lo menos por debajo del nivel general de la fundación.

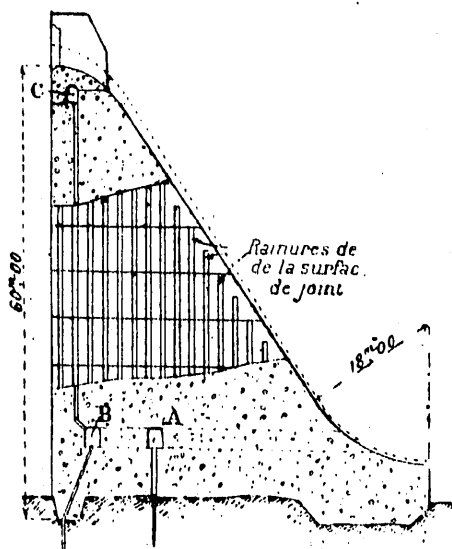


Fig. 4.ª

En el fondo de la trinchera, en la cual se ha construído este muro, se han abierto unos agujeros de sonda espaciados 3 metros, próximamente, y de 9 metros de profundidad. Estas excavaciones se han unido á la galería de inspección *B* por canales inclinados que han servido en seguida para inyectar cemento en los agujeros de sonda, de manera de hacer perfectamente

impermeable el suelo de las fundaciones y llenar las grietas que hubieran podido producirse.

Por otra parte, una serie de agujeros de sonda análogos, pero descendidos hasta 12 metros por debajo de la fundación, se han excavado al aplomo de la galería de inspección *A* reuniéndose á ésta por unos pozos verticales de 45 centímetros de diámetro. Estos agujeros se han dejado vacíos y sirven para el drenaje de las filtraciones que puedan producirse á través de la presa. Unas cañerías de drenaje unen la galería superior á las galerías inferiores.

La coronación del vertedero lleva sobre sí unas compuertas cilíndricas constituídas cada una por un fragmento de cilindro de palastro de 3,65 metros de radio y 3,15 metros de desarrollo, articulado alrededor de un árbol que coincide con el eje de la superficie cilíndrica, y sobre el cual vienen á converger los esfuerzos del empuje del agua. Este tipo de compuerta, empleado con mucha frecuencia en la actualidad en los Estados Unidos, se conoce con el nombre de compuerta Taintor.

En la parte superior de la presa se encuentran los pilares de soporte de estas compuertas de regulación. Estos pilares tienen 7,25 metros de longitud y 1,20 metros de anchura. Las compuertas son 22 y tiene cada una 7,50 metros de anchura. Uníanse los pilares por una pasadera sobre la cual circula el torno de maniobra que sirve para levantar sucesivamente todas las compuertas. Con éste objeto cada una de ellas lleva dos cadenas de elevación que pueden fijarse al torno. Cuando están levantadas, quedan las compuertas sujetas por cerrojos, lo que permite desprenderlas del torno. Cuando están bajadas descansan sobre una pieza de madera incrustada sobre la coronación del vertedero y llevan una guarnición de caucho destinada á asegurarla impermeabilidad.

Las compuertas Stoney colocadas á la entrada del canal de descarga pueden contarse entre las mayores de este tipo construídas en América. Se han determinado sus dimensiones por la separación de los pilares que habían sido ya parcialmente construídos por la Compañía precedente y tienen 10,65 metros de anchura y 7,90 metros de altura.

La elevación de las compuertas se asegura por dos tornillos que pasan por unas tuercas colocadas en la parte superior, y cuya posición tiene una altura fija, de modo que la rotación de la tuerca arrastra el movimiento vertical del tornillo. Cada tuerca se mueve por medio de un motor de 25 caballos.

Instalación del taller.—El material del taller se compone, principalmente, de un gran número de grúas *derricks* servidas por una red muy tupida de vías férreas. Había á la vez en servicio 47 grúas, una de ellas de 50 toneladas y las demás de 20. El eje de cada grúa tenía 35 metros de altura y el brazo una longitud de 30,50 metros. Estas grúas se movían por medio de motores compound de aire comprimido, cuyos cilindros tenían 228 x 254 milímetros. El aire comprimido se suministraba á los motores á la presión de 7 kilogramos por centímetro cuadrado, por dos estaciones de compresión movidas por unos motores eléctricos y pudiendo producir en junto 375 metros cúbicos de aire comprimido por minuto.

El hormigón se fabricaba en dos estaciones principales; en cada una de estas estaciones había dos hormigonadoras sistema Smith de 3 metros cúbicos de capacidad, la producción de las dos hormigonadoras llegaba á 825 metros cúbicos de hormigón al día.

La estación de agua arriba tenía también un cobertizo en el cual se podía conservar una provisión de 40.000 barriles de cemento. Al lado del cobertizo se encontraba la instalación de trituración que producía las piedras y la arena necesarias para la fabricación del hormigón.

Esta instalación comprendía un triturador de tenazas, un triturador rotativo para piedras gruesas y cuatro también rotativos semejantes para productos más finos. Después de pasar sucesivamente por estos tres grupos de aparatos, se arrojaban las piedras sobre un tamiz, volviéndose á triturar las rechazadas por

el. La estación de agua abajo tiene una instalación análoga, pero menos potente.

Las piedras procedían de las canteras situadas agua abajo de la presa, habiéndose abierto provisionalmente un túnel en la base de la presa para poder transportar las piedras hasta las hormigonadoras de agua arriba.

La arena empleada procedía del río Catawba, á poca distancia de la presa, y se mezclaba á ella de 26 á 28 por 100 de escombros procedentes de la trituración de las piedras. Se han transportado así cerca de 700 metros cúbicos de arena al día á una distancia de más de 90 kilómetros. Se dispuso en la orilla derecha, á lo largo de la vía férrea, un depósito de arena de 11.500 metros cúbicos. Se tomaba la arena de este depósito por una cubeta prensora de un transportador funicular que la vertía en una tolva, colocada á la cabeza de un transportador de correa de 240 metros que conducía la arena á las hormigonadoras de agua arriba. Otro transportador abastecía de arena á las hormigonadoras de la instalación de agua abajo.

Diariamente se hacían ensayos con la arena, el cemento y el hormigón en un laboratorio instalado en la estación principal. La dosificación del hormigón fué al principio de 1 : 3 : 5, proporción adoptada por los Ingenieros de la Compañía francesa. El análisis de los diferentes materiales condujo en seguida á emplear una dosificación de 1 : 2 $\frac{1}{2}$: 5. El hormigón así obtenido era extremadamente denso y su peso era de 2.600 kilogramos por metro cúbico; esta elevada densidad procedía de la gran cantidad de pórfido empleado en la fabricación del hormigón. La dureza de esta roca, que producía un gasto importante de explosivos para la excavación, causaba también su deterioro rápido en el material empleado en la fabricación del hormigón.

El contratista ha empleado en el taller 2.000 hombres, próximamente, de los cuales 350 eran presidiarios, para los cuales pagaba una suma determinada á la Administración penitenciaria.

FÁBRICA HIDROELÉCTRICA.—La fábrica ocupa un edificio de 55 metros de longitud y 17,40 de anchura construido en la crilla oriental. La figura 3.^a muestra las fundaciones de la fábrica y la disposición de las cañerías de llegada del agua y de evacuación.

La fábrica se ha previsto para contener cuatro grupos turboalternadores de 27.000-31.000 caballos cada uno, pero hasta ahora no se han instalado más que tres grupos. Las turbinas son de tipo Francis de eje vertical, llevando encima el alternador (fig. 5.^a). La corona fija de cada turbina se ha construido de pa-lastro de acero de 22 á 11 milímetros de espesor, según el diámetro de la sección. El árbol de la turbina tiene 60 centímetros de diámetro; se une al del alternador por unas bridas forjadas. El diámetro del rotor es de 8,75 metros y el diámetro transversal máximo de la corona fija, en el origen, es de 3,65 metros. Los árboles de la turbina y del alternador son huecos, lo que permite suspender el rotor y la parte superior del cilindro de escape de un cable que atraviesa los árboles y está suspendido del puente rodante de la fábrica. La parte giratoria está soportada por un solo cojinete del tipo Kingsbury.

Los pesos de las diferentes partes giratorias son los siguientes:

	Kilogramos.
Árbol de la turbina.....	8.165
Rotor	9.070
Rotor del alternador y de la excitatriz.....	66.225
Empuje del agua.....	27.200

Los pesos de las partes fijas son las siguientes:

	Kilogramos.
Estatores y puentes.....	64.640
Bancada superior y freno	40.000
Corona fija.....	72.500
Bancada inferior	18.000

El rotor de la turbina, del peso de 9 070 kilogramos, está formado de una sola pieza de bronce, que es sin duda uno de los mayores moldes de este género obtenidos hasta la fecha.

Las compuertas de regulación que constituyen los álabes directores están sostenidos cada uno por un coginete de soporte, de aceite, dispuesto encima de la compuerta. La disposición de la regulación es del tipo habitual, en la cual el regulador de

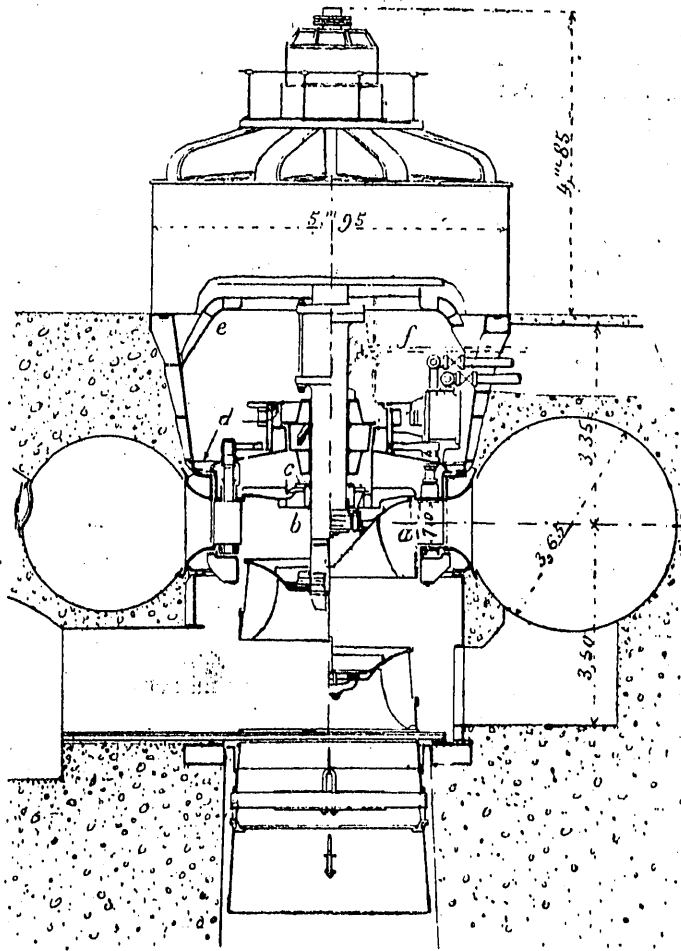


Fig. 5.^a

a, corona móvil; b, junta hidráulica; c, collarín de proyección de aceite; d, tapa principal; e, soporte de freno; f, gobierno del regulador.

bolas mueve las válvulas que gobiernan la admisión y el escape del aceite en un servo-motor, actuando éste sobre la admisión.

Cada turbina se ha calculado para producir una potencia de 27.000 caballos bajo una carga efectiva de 50,30 metros (165 pies) de altura de agua, á la velocidad de 154 revoluciones por minuto.

En estas condiciones el rendimiento es máximo y debe llegar á 90,5 por 100. Bajo una carga de 54,85 metros (180 pies) de altura de agua, la potencia de cada unidad es de 31.000 caballos.

Los alternadores de 28 polos producen corriente á 31.200 voltios. Se han dispuesto para suministrar 18.000 kilovoltioamperios. La sobrecarga máxima es de 22.500 kilovoltioamperios, con un factor de potencia igual á la unidad. El rendimiento á 18.000 kilovoltios es de 96,9 por 100. El estator tiene 5,80 metros de diámetro y el rotor 4,50 metros de diámetro. La excitatriz es una dinamo de 72 kilovatios á 250 voltios.

Los alternadores producen así la corriente á la tensión á que debe transportarse hasta las fábricas electroquímicas próximas, con lo que se consigue evitar la instalación de transformadores para elevar la tensión.

Como se ve—concluye M. Calfas—, esta fábrica constituye un ejemplo interesante de explotación de un potente salto de agua de altura media. Contiene, sin duda, las unidades hidroeléctricas más potentes que se han construido hasta ahora.