

De igual modo, que no creemos necesario repetir con igual prolijidad, visto ya el mecanismo, resultan:

Total hasta $z = 18$ cm	2 900 cm ²	×	7,5 cm	=	21 776 cm ³
— 21	3 106	×	8,3	=	25 784
— 24	3 275	×	9,0	=	29 577
— 30	3 545	×	10,4	=	36 837
— 36	3 755	×	11,6	=	43 737

Si la fibra neutra corta el alma, el cálculo es directo, conocidas el área y momento estático de toda la cabeza, que comprende entonces hasta $z = 36$ cm. Así, para la obra de 20 m, con canto útil c de 150 cm y armadura de seis barras de 52 ($u = 127,4$ cm²):

$$3\ 755\text{ cm}^2 (x - 11,6)\text{ cm} + 0,5 \times 30 (x - 36)^2 = 15 \times 127,4 \times (150 - x)$$

$$15\ x^2 + 4\ 586\ x - 310\ 947 = 0; \ x = 56,8\text{ cm.}$$

Pero cuando x no alcanza tanto hay que proceder por falsa posición. Para la luz de 6 m, supuesto que x valga 15 cm, la comprobación ($c = 60$ cm, $u = 31,9$ cm²), da:

$$2\ 656\text{ cm}^2 (x' - 6,7)\text{ cm} = 15 \times 31,9 (60 - x'); \ x' = 14,8\text{ cm,}$$

es decir, un error de dos milímetros, que no merece el trabajo de rectificar.

Para la luz de 7,25 m ($c = 65$ cm, $u = 39,6$ cm²) la hipótesis $x = 18$ cm conduce a

$$2\ 900 (x' - 7,5) = 15 \times 39,6 (65 - x'); \ x' = 17,2\text{ cm.}$$

(Continuará.)

Los recientes desarrollos del aprovechamiento de las cataratas del Niágara.

Nos proponemos exponer la situación actual del aprovechamiento de las fuerzas hidráulicas del Niágara, para lo cual vamos a resumir un artículo de M. P. G., publicado en *Le Génie Civil*.

El primer aprovechamiento de las cataratas del Niágara data de 1853, y desde esta época la instalación de fábricas hidráulicas se ha proseguido, sin ninguna restricción administrativa ni legal, hasta 1906. En esta época, una campaña para la conservación de la belleza natural del lugar, hizo que, después de varias vicisitu-

de 300 metros de longitud, no consume más que el 5 por 100 de la corriente total, en tanto que por el salto canadiense o Horseshoe Falls (salto de la Herradura) (fig. 1.^a) corre el 95 por 100 restante.

En la actualidad la derivación permitida en la orilla americana se utiliza íntegramente, y en la canadiense lo será cuando se ponga en marcha la última fábrica, actualmente en construcción en Chippawa, por la Hydro-Electric Power Commission.

El salto total utilizable es de 99,50 metros, lo que representa una potencia total bruta de cerca de 8 millones de caballos; según parece, la potencia máxima aprovechable, limitada por la cantidad de agua necesaria para la corriente de los hielos, es de 3 millones de caballos; la legislación propuesta tiende al aprovechamiento de una potencia de 2 millones de caballos. En fin, las fá-

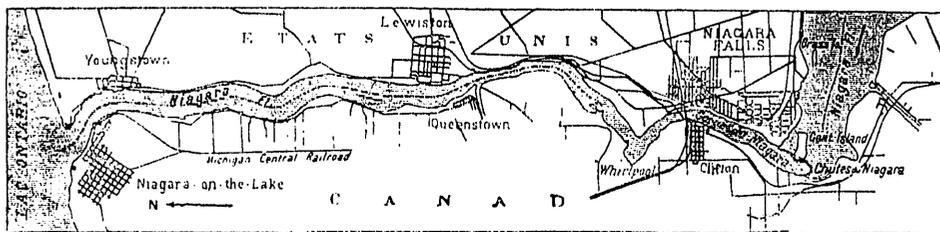


Fig. 1.^a

des, se concertaron en 1910 los Estados Unidos y el Canadá, limitándose a 1.600 metros cúbicos, próximamente, la derivación total de las aguas, de los que 1.020 corresponderían al Canadá y 570, próximamente, a los Estados Unidos.

Esta diferencia se explica por la configuración de la región del Niágara. Se sabe que el salto está dividido en dos partes por una isla: Goat Island (isla de la Cabra) (figuras 1.^a y 2.^a); el salto americano, que se produce por un vertedero sensiblemente rectilíneo,

bricas actualmente en servicio tienen una potencia total de caballos 800.000.

El autor cita las diferentes fábricas que desde 1853 han utilizado el agua de las cataratas; pero no nos ocuparemos de las antiguas, cuyo rendimiento es relativamente pequeño, y pasaremos a describir las más recientes: *F* (fig. 2.^a), de la Ontario Power C.^o, en la orilla canadiense, y *D*, de la Hydraulic Power C.^o

En 1909-11 la Ontario Power C.^o amplió su antigua fábrica

por una instalación, que presenta características nuevas interesantes, de las que tres, por lo menos, merecen particular mención: la forma especial del perfil de la cañería forzada, el empleo de un depósito de regulación diferencial del sistema Johnson y, en fin, la compuerta equilibrada Johnson.

El cálculo de las cañerías de gran diámetro sometidas a una presión elevada ha sido objeto de numerosos estudios, y Mr. Wahl-

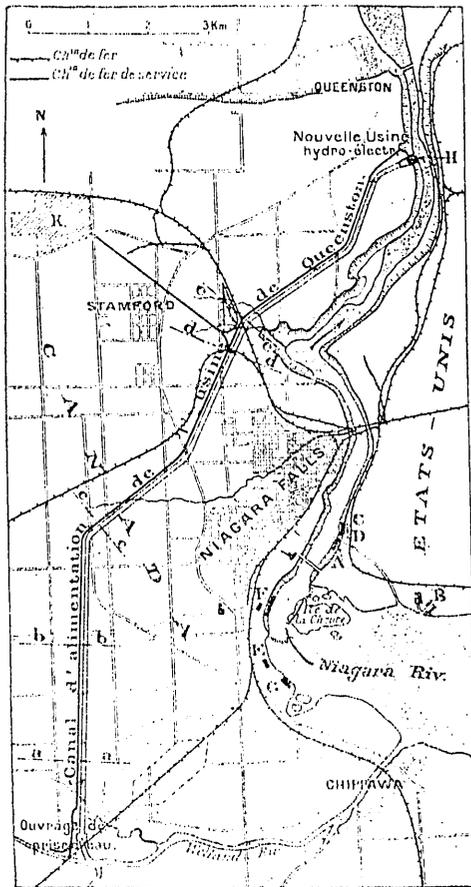


Fig. 2.^a

A, fábrica de la Hydraulic Power C.^o (1896, 34.000 caballos); B, fábrica de la Niagara Falls C.^o (1904, 90.000 caballos); C, fábrica de la Hydraulic Power C.^o (1906, 150.00 caballos); D, fábrica de la Hydraulic Power C.^o (1918, 112.500 caballos); E, fábrica de la Canadian Niagara Power C.^o (1892, 100.000 caballos); F, fábrica de la Ontario Power C.^o (1901-1910, 200.000 caballos); G, fábrica de la Electrical Development C.^o (1903, 125.000 caballos); H, fábrica de la Hydro-Electric Power Commission (1921, 300.000 caballos); K, área de depósito de los escombros del canal de la fábrica de la Hydro-Electric Power Commission.

man ha estudiado particularmente la resistencia de estas cañerías desde el punto de vista del aprovechamiento óptimo de los materiales. Este corresponde prácticamente al caso en que los diferentes elementos de la sección soporten esfuerzos de tensión, y Mr. Wahlman demuestra que una cañería que responda a esta condición y esté soportada a lo largo de una generatriz *a* (figura 3.^a) tendría, no una forma cilíndrica, sino un perfil tal como *a, b, c, d, e*; esta es la forma que tomaría una cañería flexible bajo la influencia de la presión. A lo largo de este perfil se tiene constantemente $rh = \text{constante}$, siendo *r* el radio y *h* la presión hidrostática. Para la facilidad de la construcción, la cañería se ha establecido, no según este perfil teórico, sino con una ligera modificación, consistente en aplanar el fondo según: *b, e*. La cañería es de hormigón armado. La adopción de este perfil ha permitido, según parece, economizar más de 200.000 dólares sobre el precio de coste de la cañería.

La cañería está enterrada por completo en el suelo y no lleva ninguna junta de dilatación. No se ha adoptado en su construcción ninguna disposición particular ni ningún enlucido especial para asegurar la impermeabilidad, obteniéndose ésta solamente

por una dosificación particularmente bien estudiada de los elementos del hormigón y por los cuidados que se han tenido en su colocación. La superficie interior de la cañería, moldeada en forma de palastro, ha sido alisada por frotamiento por medio de ladrillos de carborundum, de manera de suprimir todas las asperezas. La finura así obtenida ha reducido a un pequeño valor el coeficiente de frotamiento del agua contra las paredes, como se ha podido observar en una serie de medidas. La pérdida de carga para una velocidad de 6 metros sería la mitad, próximamente, de la pérdida correspondiente en la antigua cañería de acero de la misma sección.

La segunda particularidad de la nueva instalación es el em-

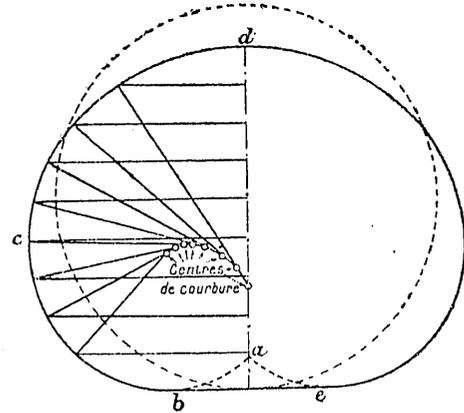


Fig. 3.^a

pleo de un depósito diferencial del sistema Johnson. El principio de este regulador consiste en colocar sobre la columna de equilibrio, empleada generalmente para evitar los golpes de ariete, una prolongación de un diámetro un poco reducido, a través del depósito colocado en el vértice, estableciendo entre las dos un orificio más estrecho. Gracias a este sistema, la aceleración y la altura de carga están todavía gobernadas por el nivel libre del agua en la columna de equilibrio, pero no ejercen influencia sobre la masa de agua almacenada, encontrándose rápidamente amortiguadas las oscilaciones en la cañería y pudiéndose prevenir contra las variaciones sincronicas de presión.

En fin, la compuerta equilibrada Johnson, que representa la figura 4.^a, constituye la tercera particularidad de la instalación. Para la construcción de la primera parte de la fábrica de la Ontario Power C.^o se habían empleado compuertas ordinarias gobernadas por motor, a la entrada de cada cañería forzada; estas compuertas tenían un diámetro de abertura igual al de la cañería, o sea 2,74 metros, y funcionaban bajo una carga que llegaba a 18 metros, así que su maniobra necesitaba una potencia de 30 caballos y la maniobra completa duraba casi una media hora. Durante el funcionamiento el diafragma de la compuerta estaba sometido a violentas vibraciones, debidas a los torbellinos producidos por el estrechamiento. La compuerta Johnson evita estos inconvenientes. La figura 4.^a muestra esquemáticamente su manera de funcionar. La compuerta, propiamente dicha, se compone de un cuerpo de revolución formado por dos partes: una fija, A, otra móvil, B, ambas terminadas en punta, alojado en un ensanchamiento de la cañería. Cuando se admite, por medio de la llave R, el agua en el interior de la compuerta, por la llave b, la parte móvil se mueve hacia la izquierda, y la ojiva K viene a aplicarse sobre su asiento y a cerrar la compuerta. Por el contrario, cuando se admite el agua por la llave c, en la cavidad que existe entre las dos partes de la compuerta se produce el retroceso de la parte móvil y, por consiguiente, la abertura de la cañería. En estas condiciones basta girar una sencilla llave a mano para gobernar la maniobra de una compuerta de cerca de 3 metros de diámetro,

cuya abertura o cierre se obtiene en menos de un minuto. Ocho compuertas de este sistema se han montado en la nueva instalación y pueden gobernarse eléctricamente a partir de la sala de máquinas.

La última fábrica puesta en servicio en el Niágara es la de la Hydraulic Power C.^o, cuya construcción comenzó en 1918, y se

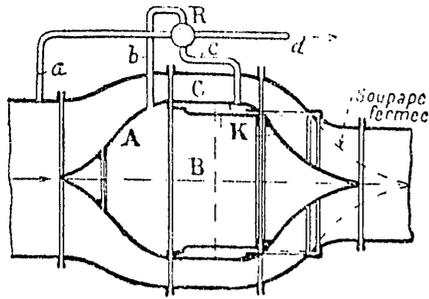


Fig. 4.ª

ha abierto al servicio a principios de este año. Comprende tres grupos turbo alternadores (fig. 5.ª), cuya potencia total llega a 112.500 caballos. Cada turbina está alimentada separadamente por una cañería de 107 metros de longitud y 4,75 metros de diámetro, cuyo caudal está gobernado por una compuerta Johnson, colocada directamente contra el cárter de la turbina.

Las turbinas de grandes dimensiones contruidas en los Estados Unidos desde hace cinco o seis años son del tipo vertical, que ha sido muy perfeccionado y llega a dar un rendimiento de 90 a 93 por 100. Las velocidades adoptadas para estas potentes unidades son mucho mayores que las que estaban en uso hace solamente algunos años. Resultan, sin embargo, dificultades particulares para el establecimiento de las cañerías de carga.

La forma que hay que dar al orificio de escape y a la cañería que le sigue es particularmente difícil de determinar. Para reducir al minimum el efecto de erosión causado por la gran veloci-

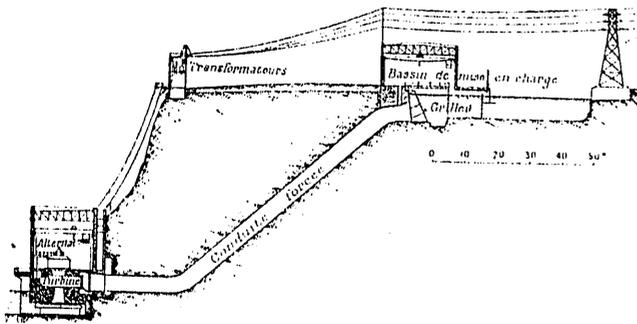


Fig. 5.ª

dad del agua, sería necesario dar a la cañería de escape una gran longitud, lo que, en general, es imposible hacer. Para remediar esto se ha estudiado el modo de dar a la cañería de evacuación una forma especial. Dos disposiciones especiales se han propuesto: una (fig. 6.ª) consiste en colocar en la base de la cañería *a* un cono *b* de hormigón, destinado a prevenir la formación de toda cavidad en la parte inferior de la cañería. Entre este macizo cónico y la pared del tubo corre el agua, en una lámina circular, hasta las cañerías *c*, que la llevan al canal de descarga. Como esta disposición es enteramente simétrica, la corriente es regular y prácticamente sin choques peligrosos.

La disposición representada en la figura 7.ª, ideada por mister White, y llamada White Hidran-cono, tiene una meseta de hormigón *a*, situada debajo de la cañería vertical, y sobre la cual se aplasta, por decirlo así, la columna de agua descendente.

Esta baldosa protege al mismo tiempo la cañería de evacuación del agua.

Mister Wahlman indica también la manera ingeniosa cómo se ha medido el rendimiento en estas recientes instalaciones, empleando un nuevo método ideado por Mr. N. R. Gibson.

El funcionamiento de este ensayo es el siguiente: una carga, tan regular como es posible, se aplica a la turbina y se mide. La compuerta de admisión de agua en la turbina se cierra entonces, y se registra el incremento de presión durante el cierre. La curva de variación de presión con el tiempo durante el cierre permite entonces evaluar la velocidad media en la cañería al principio del cierre de la compuerta. Esta velocidad da el caudal con una

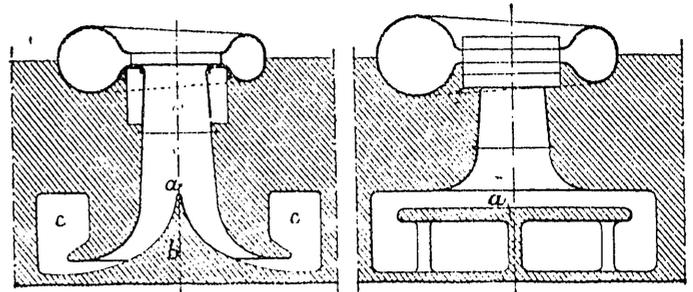


Fig. 6.ª

Fig. 7.ª

precisión que, según el autor, llegaría a una milésima. La relación entre la velocidad, el tiempo y la presión es un problema que puede resolverse por los métodos de cálculo elaborados para el estudio de los golpes de ariete, principalmente por medio de las fórmulas de Mr. Allieri y Mr. N. R. Gibson. Este método se ha verificado por ensayos volumétricos que han demostrado su exactitud. Mister Gibson ha construido un instrumento muy sencillo fundado en este principio; por medio de este instrumento se levanta la curva de variación de las presiones, y se deduce de ella fácilmente el caudal. La medida propiamente parece que puede hacerse en algunos minutos.

Nueva fábrica de Queenston.—La Hydro-Electric Power Commission ha decidido el establecimiento en la orilla canadiense de una nueva instalación notable, tanto por su potencia como por la amplitud de las obras que necesita. Esta instalación aprovechará en su totalidad al desnivel de los dos lagos Erie y Ontario; es la primera que se instalará agua abajo del Whirlpool. La potencia máxima prevista es de un millón de caballos. La primera parte de la ejecución comprende la creación de una fábrica de 300.000 caballos, que se cuenta poner en marcha en 1921, y cuyas turbinas tendrán la potencia unitaria excepcional de 50.000 caballos. Se vislumbra aún, para la ampliación ulterior de la primera fábrica, el empleo de turbinas de 100.000 caballos.

Esta instalación comprende una fábrica colocada netamente agua abajo de todas las otras, en Queenston (fig. 2.ª), y que será alimentada por un canal que tomará el agua del Niágara, en Chippawa, de donde el nombre de Chippawa-Queenston dado al nuevo proyecto. El canal de llegada utiliza, en una longitud de 4 kilómetros, próximamente, el lecho mismo del río Welland; el resto del canal se excavará en terreno elevado, fuera de la garganta del Niágara, como se ve en la figura 2.ª

Las obras reguladoras de la toma de agua deben instalarse en el origen del canal propiamente dicho, cerca de su confluencia con el río Welland. El caudal debe ser de 425 metros cúbicos por segundo, próximamente. Para obtenerle se deberá realizar una velocidad de 60 centímetros, próximamente, por segundo en el lecho canalizado del río Welland, al cual se dará una pendiente de 12 centímetros por kilómetro en sentido inverso de la pendiente primitiva, y de 2 metros por segundo, próximamente, en el canal

artificial, cuya pendiente será de 2,10 metros, próximamente, por kilómetro.

El canal deberá excavar en gran parte en un suelo rocoso cubierto de tierra. La primera sección, de una longitud aproximada de 2 kilómetros, se excavará en la tierra, y casi todas las otras lo serán en la roca, excepto un corto trozo enfrente del Whirlpool, en que el nivel de la roca desciende profundamente.

El canal desemboca por su extremo en un depósito de puesta en carga, de 300 metros, próximamente, de longitud y 90 de anchura, a 750 metros, próximamente, del río Niágara, en Quenston, y en la cima de una colina que bordea el curso de agua. Las cañerías forzadas que alimentarán la fábrica son de acero, de 4,25 metros de diámetro y 137 metros de longitud. Estas cañerías principales serán primero cuatro; una quinta cañería, de 1,50 metros de diámetro, debe alimentar especialmente a la turbina que gobierna la excitatriz.

La velocidad prevista para las turbinas es de 187 vueltas y media por minuto y, a esta velocidad, la potencia mecánica de acoplamiento será 52.500 caballos. El árbol vertical de cada turbina está acoplado directamente al del rotor del alternador, colocado encima (fig. 8.^a). La admisión del agua se regula por unas compuertas Soluson.

La cañería de escape de cada turbina es de fundición, constituida por dos virolas montadas una encima de otra, pudiendo la superior desmontarse y pasar a la inferior, de manera de permitir el desmontaje y descenso del rotor de la turbina, en caso de

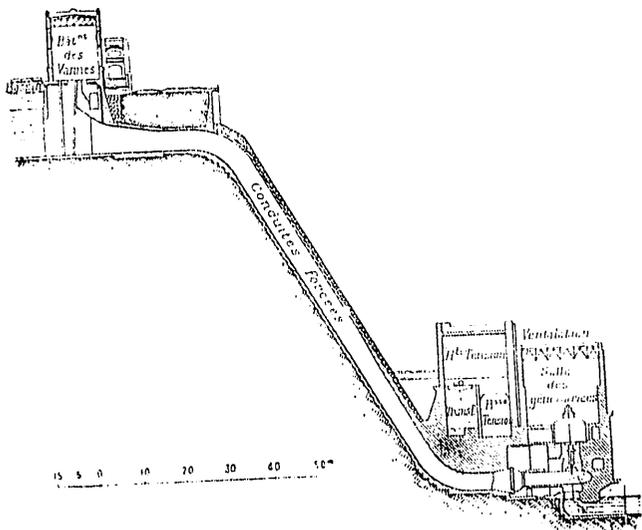


Fig. 8.^a

reparación. Una vez descendido, será recibido el rotor en un carrerón que lo llevará lateralmente por un túnel de donde podrá extraerse por un puente rodante, enviándole al taller de reparación.

Las turbinas serán un poco menores que las empleadas en 1913 en la fábrica de Keo Kuk (Mississippi), si bien su potencia será mucho más elevada, a causa de la carga mucho más considerable (96 metros de altura bruta de salto, en lugar de 10 metros, próximamente, en Keo Kuk).

Los alternadores, de 43.900 kilovoltamperios, con un factor de potencia de 0,85, producirán corriente a 12.000 voltios, 25 períodos. La corriente se transformará a 110.000 voltios para distribuirse por las líneas de la red de la Hydro-Electric Commission.

La marcha de las turbinas se regulará por medio de reguladores hidráulicos que mantendrán la velocidad en menos de 0,5 por 100. Su acción será eficaz en tres segundos, próximamente. Se ha previsto un enfrenamiento destinado a detener rápida-

mente el rotor, una vez cerradas las compuertas de admisión de agua. El rotor lleva, con este objeto, un anillo sobre el cual pueden venir a aplicarse unas zapatas impulsadas por unos émbolos hidráulicos dispuestos radialmente.

Los alternadores deben ser del tipo cerrado y enfriados por circulación de aire; el aire caliente se evacua directamente fuera del edificio.

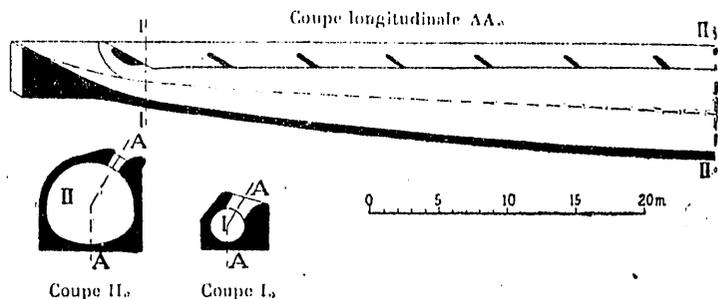
Las obras de instalación de esta fábrica se realizan con gran actividad en estos momentos. La excavación del canal, dada su gran sección, constituye una obra considerable. La masa que hay que excavar se evalúa en cerca de 10 millones de metros cúbicos de tierra y 3 millones de metros cúbicos de roca para el canal propiamente dicho. Por otra parte, la canalización del río Welland exigirá el dragado de más de 1.500.000 metros cúbicos de tierras. Para la ejecución de estas obras en un espacio de tiempo relativamente corto, se ha tenido que emplear un material de los más potentes. Se ha construido para facilitar los trabajos un ferrocarril que costea el trazado del canal (fig. 2.^a), que tiene un ramal hacia un lugar K, que presenta una vasta depresión, en donde se descargan los materiales excavados. Estos se transportan por medio de locomotoras eléctricas de 50 toneladas.

Los trabajos se reparten en tres grandes sectores: el río Welland, el canal y los edificios de la fábrica. El arreglo del río Welland se ha realizado en la parte de agua abajo por una draga que vierte sus escombros en unas chalanas. Estas van a vaciarse en el río Niágara. Más agua arriba el dragado se efectúa por medio de un excavador y de un transportador de cable.

Una de las principales dificultades que se presentan en el funcionamiento de las fábricas hidráulicas de la región del Niágara proviene de los hielos acarreados en invierno por el río. La pequeña profundidad de éste (2 a 5 metros) agua arriba de las cataratas hace difícil la captación de las cantidades considerables de agua que necesitan las fábricas modernas, sin perturbación en la corriente de los hielos. Para asegurar la toma de agua con el mínimo de remolinos, Mr. Wahlman ha ideado un sistema que representan las figuras 9.^a a 11; y cuya eficacia se ha demostrado por los experimentos realizados con modelos.

En este sistema, la toma de agua se realiza por medio de una especie de larga cañería de forma generalmente cónica dispuesta en el lecho del río y comprendiendo una serie de aberturas, *a*, para la entrada del agua. Las aberturas *a* son sensiblemente iguales, y la sección de la cañería aumenta según una progresión tal que la velocidad del agua en ella es constante del uno al otro extremo.

En estas condiciones, el agua penetra en la obra de toma por una sección relativamente grande: 123 metros cuadrados para cada uno de los aparatos, tales como el de la figura 9.^a, y la toma



Figs. 9.^a a 11.

se efectúa en el fondo del lecho sin que se transmitan perturbaciones de la superficie. De esta manera se evita a la vez la erosión del lecho del curso de agua y la desviación de la corriente por los hielos.

En la sección del canal propiamente dicho, las obras han em-

pezado por el depósito de agua abajo y está muy avanzado. Los escombros terrosos se han quitado por medio de grandes excavadoras de pala, movidas unas por vapor, otras por la electricidad. La excavación de la cuneta en la roca se ha realizado por medio de derrocadoras y perforadoras. Las vías férreas que atraviesan el canal pasarán por puentes de hormigón armado que están casi terminados.

En cuanto a los edificios (fig. 8.^a), su construcción progresa con bastante rapidez.

Como hemos indicado, la instalación en vías de ejecución

debe tener una potencia de 300.000 caballos, pero se ha previsto su ampliación ulterior hasta un millón de caballos. Para conseguir esto se deberán construir nuevos edificios en prolongación de los que se están construyendo, a lo largo del río, y se excavarán dos nuevos canales paralelos al primero. Se propone, por otra parte, que la fábrica así creada sea explotada a la vez por los dos Estados, el Canadá y los Estados Unidos, gracias a un acuerdo especial, por ser la explotación de una sola fábrica más económica y de mejor rendimiento que la de fábricas separadas, de menor potencia.

REVISTA EXTRANJERA

Nuevo procedimiento para regenerar las lámparas incandescentes.

La regeneración de las lámparas incandescentes recibe en la actualidad un gran impulso en la Gran Bretaña, a causa, sin duda, del alza que experimentan todos los metales y particularmente el tungsteno y por efecto de los progresos realizados en la regeneración.

A consecuencia de los trabajos de M. F. Harrison y de la Renew Electric Lamp C.^o, se ha establecido en Harrow Road, suburbio de Londres, una fábrica de regeneración que explota la Aladdin Renew Electric Lamp Corporation, fábrica cuya producción se eleva actualmente a 30.000 ó 35.000 lámparas mensuales, y cuyo material permitirá bien pronto una producción anual que excederá de un millón de lámparas. El *Electrician* hace algunas indicaciones sobre el procedimiento de regeneración empleado, que resume *Le Génie Civil*, de donde tomamos esta nota.

Se hace primero entre las lámparas una clasificación inicial apropiada y se eliminan todas aquellas cuya varilla de cristal axil *B* (figuras 1.^a y 2.^a) esté rota. Se sabe, en efecto, que el centro del casquillo *Q* de una lámpara de construcción corriente (fig. 1.^a) soporta un saliente de vidrio *P* que lleva sobre él una varilla *B*, sobre la cual se forman dos collarines alrededor de los

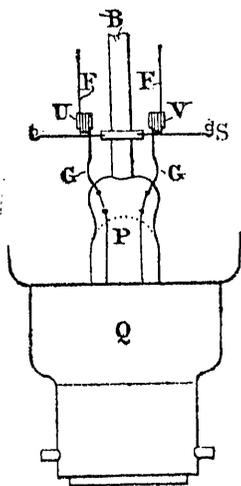


Fig. 1.^a

cuales radian los soportes superior e inferior *R* y *S* que forman «patas de araña» alrededor de los cuales giran las diferentes vueltas del filamento *F*.

Para regenerar las lámparas, se practica en la ampolla *B* (fig. 2.^a) un agujero *A*, de 6 a 7 milímetros de diámetro, que basta para permitir el montaje, en la varilla de cristal *B*, de una prolongación *CD* del ánima de níquel *C*, incrustada en una perla de cristal *D*, y teniendo una longitud de 9 a 10 milímetros.

Después de una limpieza interior de la ampolla *B*, se la lava con agua caliente y se la llena de alcohol metílico, secándose después la ampolla a la temperatura normal.

De los dos juegos de soportes radiantes *R* (fig. 2.^a), *S* (fig. 1.^a), que sostienen el filamento estirado de las lámparas que hay que regenerar, el único que soporta la tensión del filamento antes de la cocción es el de níquel *S* que está próximo al casquillo, siendo

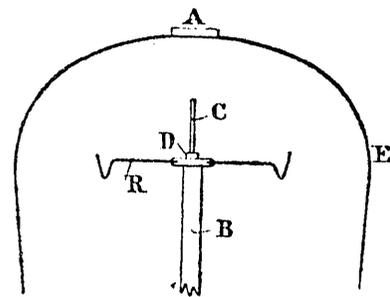


Fig. 2.^a

el soporte radiante superior *R* de hilos de molibdeno casi sin rigidez. Se duplica, pues, este último, para la duración solamente del montaje, por una disposición análoga, radiante alrededor de un tubo axil que se engancha sobre el eje de níquel *C* preliminarmente introducido en la ampolla.

No se retira por otra parte de la lámpara, ni el soporte radiante *R* ni su collarón, y se limita a plegar provisionalmente, a lo largo de la varilla *B*, las ramas flexibles de molibdeno que componen el soporte *R*, antes de enganchar sobre la varilla de níquel *C* el soporte radiante temporal *T*, que representa la figura 3.^a Este sistema está compuesto de un pequeño tubo de acero *C* cuya base está incrustada en una rodaja de vulcanita *M* y ro-

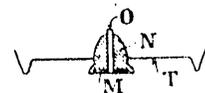


Fig. 3.^a

deada por una masa de cera *N* que sirve de armadura central y de cubo a los elementos de cobre *T* que forman los radios del soporte temporal.

Para no tener que inquietarse por la unión del nuevo filamento con hilos de llegada exteriores, se dejan subsistir dos cortos segmentos *G* (fig. 1.^a) en la base del antiguo filamento *F*. Después de lo cual se evita la difícil cuestión de la soldadura engan- chando los extremos superiores de los segmentos *G* y los extremos inferiores del filamento nuevo *F* entre las espiras de los dos pequeños resortes *U* y *V*, lo que asegura, en la base de este filamento, las dos uniones deseadas.

Estando tenso el nuevo filamento entre el soporte radiante