

REVISTA EXTRANJERA

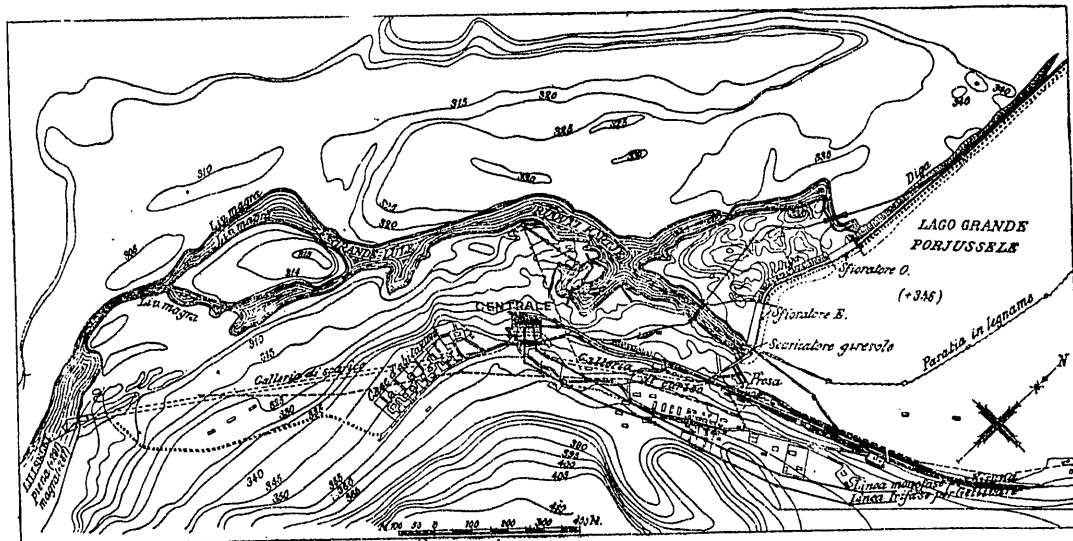
La fábrica hidroeléctrica de Porjus (Suecia).

La Central eléctrica de Porjus, sobre el río Lule, perteneciente al Estado sueco, se construyó con el objeto principal de suministrar la energía eléctrica necesaria al ferrocarril que de Kiruna va á la frontera noruega (Riksgränsen), el cual, además del servicio de viajeros, debía explotar el intenso y pesado tráfico de las minas de hierro de Lapland.

Esta instalación forma parte del vasto programa estudiado á

las figuras 1.^a, 2.^a y 3.^a que tomamos del *Giornale del Genio Civile*. Se ve en la primera que el dique de retención está asentado sobre dos brazos del curso del río, de los cuales el oriental es el más importante. La toma de agua está dispuesta en el extremo de la parte del dique asentada sobre terreno resistente.

Teniendo en cuenta las condiciones climatológicas, era necesario evitar las largas cañerías de cargas salientes sobre el terreno. Los sondeos geológicos pusieron de manifiesto la facilidad de establecer la sala de máquinas subterránea, y de abrir en

Fig. 1.^a

fines de 1904 para la transformación eléctrica de los ferrocarriles suecos, cuyo servicio importa anualmente un gasto bastante elevado.

Para realizar este programa el Estado ha destinado muchos saltos de agua de su propiedad y otros adquiridos con el mismo de particulares.

Entre los proyectos que se presentaron se dió la preferencia al de la Central de Porjus, no sólo por la mayor posibilidad de ampliación de que era susceptible, sino también por la mayor facilidad que ofrecía para una ulterior electrificación de la línea hasta el golfo de Botnia, así como por la mayor probabilidad para un intenso desarrollo industrial en la región.

De todo esto trata detalladamente la *Engineering*, de la cual son los datos siguientes:

En las presas de Porjus el caudal del río Lule es:

	Metros cúbicos próximamente.
En el estiaje ordinario	40
En el máximo estiaje	24
En la máxima crecida	1.500

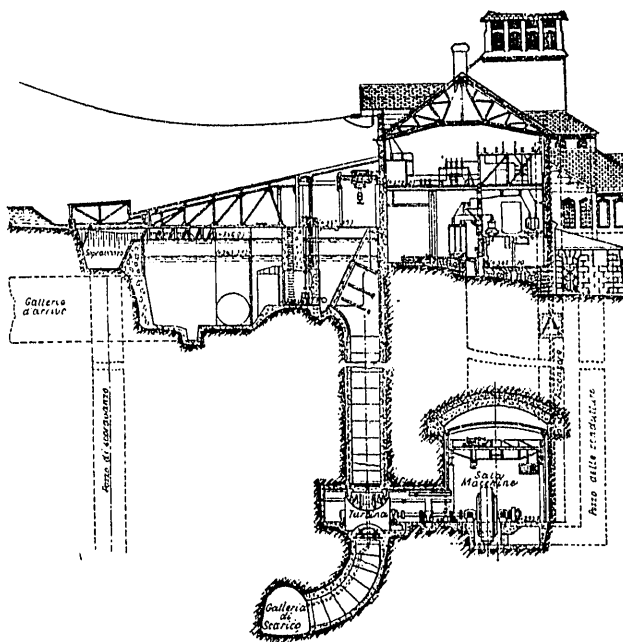
Una investigación del régimen del sistema de los lagos agua arriba de Porjus ha demostrado que el caudal de estiaje del río podría llegar á 150 metros cúbicos mediante la gradual regulación del lago denominado Gran Lule y de otros agua arriba de éste.

Los saltos de Porjus comprenden una sucesión de rápidos y de cascadas en una extensión de dos kilómetros, entre dos tramos relativamente tranquilos llamados el grande y el pequeño Porjussetlet. La construcción de la presa de Porjus ha aumentado notablemente la superficie de las aguas, pudiéndose contar con un salto cuya altura varía de 49 á 55 metros.

Las disposiciones generales de la fábrica están indicadas en

la roca galerías para la llegada de las aguas á las turbinas y para su evacuación, situación que ofrecía grandes ventajas para el invierno.

La instalación de máquinas comprende cinco grandes unidades, de las que dos, de 12.500 caballos cada una, están desti-

Fig. 2.^a

nadas á la tracción eléctrica del ferrocarril, otras dos, de 14 000 caballos deben servir para suministrar energía á la industria, á la explotación minera, etc., siendo la quinta de reserva. La unidad se compone de turbinas gemelas de ejes horizontales acopladas directamente á las dinamos, las cuales estan dispuestas

para dar corriente monofásica para el ferrocarril y trifásica para el suministro de energía. La unidad de reserva puede acoplarse á voluntad á la monofásica ó á la trifásica. Las turbinas marchan ya á 225 revoluciones por minuto (monofásica), ya á 250 (trifásica).

Construcción de la presa.—Para la construcción de los terraplenes ha sido necesario tener en cuenta los amontonamientos de hielo que se producen en invierno y los movimientos que los témpanos toman bajo la acción del sol. Los terraplenes comprenden esencialmente tres partes (fig. 4.^a): un macizo de piedras en el lado agua abajo, un terraplén agua arriba, y en medio, detrás de las piedras, un núcleo formado de un muro de cemento armado descansando sobre la roca. El coronamiento llega á la cota + 347,85, ó sea 1,85 metros sobre las más altas aguas.

Una galería de inspección de 112 metros de longitud está dispuesta en la parte agua arriba del núcleo mencionado.

Sobre el brazo occidental, entre las elevaciones en terraplén, así como en la mayor parte de la presa correspondiente á la corriente principal, se elevan obras fijas formando vertedero cons-

las compuertas de cierre de palastro se maniobran por medio de un torno á mano.

En resumen: la presa en su conjunto tiene un desarrollo total de 1.253 metros, de los que 197,7 son vertederos y 981 terraplenes. La importancia relativa de las diversas clases de la obra puede deducirse de las cifras globales siguientes:

	Metros cúbicos.
Excavaciones en tierra.....	34.200
Idem en roca.....	19.800
Argamasa.....	24.900
Cemento armado para el núcleo central.....	13.900
Otras obras de cemento armado.....	3.300
Terraplenes.....	101.600
Escalones de piedras.....	112.200

Toma de agua.—El macizo de mampostería de la toma se eleva en ángulo recto sobre el muro grueso de presa. Las vías de agua son cuatro, teniendo cada una 11 metros de anchura y 4,50 de al-

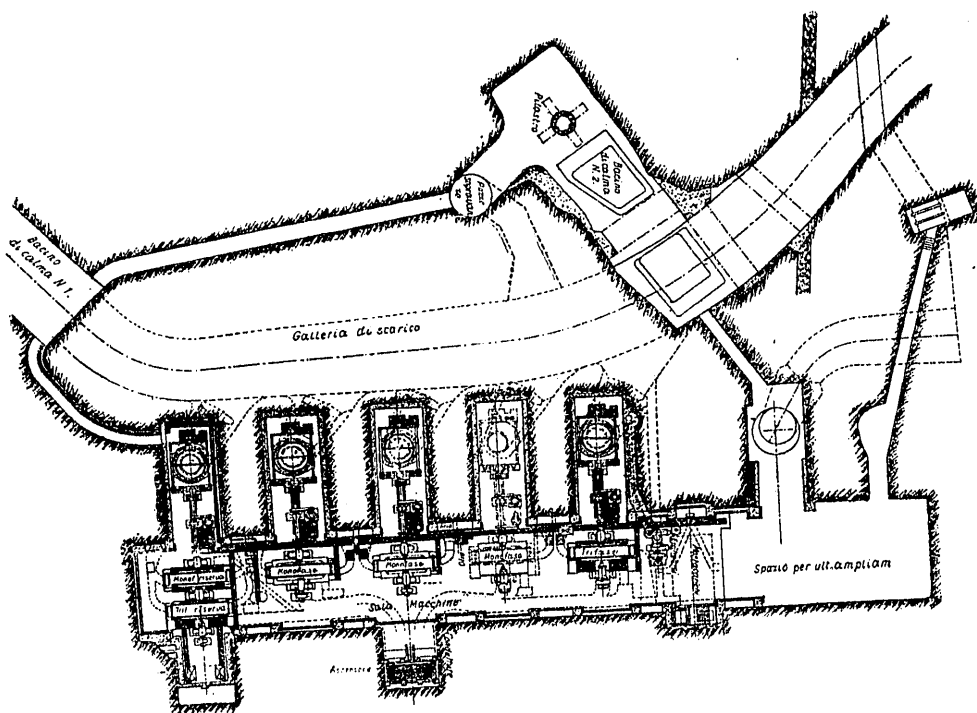


Fig. 3.ª

truídas con hormigón; la occidental de 82,30 metros de longitud y la oriental de 115,37.

Presa de rodillo (figuras 5.ª y 6.ª).—Esta obra está construída inmediatamente al Este del vertedero sobre la corriente principal en una parte maciza de la presa; la abertura de 12 metros que puede dejar libre el rodillo móvil se utiliza para dejar paso á los cuerpos flotantes.

El coronamiento está en la cota + 342,50, ó sea un metro más bajo que el vertedero.

El rodillo metálico es una envolvente cilíndrica de 1,60 metros de diámetro y 13,42 metros de longitud con dos gualderas. Los extremos del rodillo, que se extienden en unos nichos más allá de sus gualderas de palastro, están provistos de coronas dentadas que engranan con una cadena articulada maniobrada por un cabrestante eléctrico ó á mano.

Dique macizo y cámara de introducción.—La parte de dique establecida sobre la orilla oriental, entre el cierre de rodillo y la cámara de introducción del agua, se ha estudiado de manera que evite sobre esta última el flujo de los acarrees de hielo; el muro de mampostería adyacente presenta del lado agua arriba un paramento casi vertical; las dos vías permanentes para la introducción del agua tienen cada una una desembocadura de 1,5 x 1,5 metros cuadrados con su asiento en la cota + 339,50;

Detrás de las aberturas hay unas rejillas cuyas barras están espaciadas 100 milímetros. El agua pasa en seguida á un depósito de toma descubierto que forma transición entre las secciones anteriores más anchas y menos profundas y las más estrechas y más profundas que preceden inmediatamente á la cabeza del túnel de carga. Veinte metros delante de esta cabeza hay una compuerta de cierre de hierro que forma una desembocadura de 6,67 metros de altura por 7,50 de anchura, suspendida por cadenas y maniobrada desde un puente móvil superior soportado por pilares de hormigón. La compuerta está formada por riostras de vigas en celosía, unidas por montantes verticales. La presión del agua se transmite sobre unos carriles de hierro forjado sostenidos por unos hierros de Differdange por medio de cuatro ruedas fijas de 75 centímetros de diámetro; para obtener un reparto conveniente de los esfuerzos entre las ruedas, están éstas reunidas dos á dos por unas bogias alojadas en unas vigas cajones laterales de palastro.

Túnel de carga.—El túnel de carga ha sido abierto á la mina según una sección oval de 50 metros cuadrados, siendo la anchura libre de 7,50; los declives son de 1 : 800, y la longitud total de 525 metros; en la mayor parte hasta 150 metros del depósito de partición, la pared ha podido formarse por la roca natural sin revestimiento de hormigón. Más allá el revestimiento de

hormigón está armado y se ha determinado su espesor de modo de prevenir la posibilidad de filtraciones de agua hacia la sala de máquinas y el canal de descarga.

Depósito de distribución.—Según los gráficos probables establecidos por los ferrocarriles del Estado para la tracción eléctrica, la diferencia máxima en el consumo del agua podía llegar a 50 metros cúbicos. Antes que los cambios de velocidad correspondientes hayan podido producirse en las aguas, sobreviene ne-

cal, arrastra el aire como una gigantesca bomba; ha sido necesario, por consecuencia, agujerear el techo encima del pozo, disponiendo unos registros móviles que sirven también para las galerías de equilibrio del túnel de carga. En estas condiciones, el aire es también arrastrado por el corredor de comunicación hasta el pozo entubado de la carga, que se abre al aire libre. El túnel de corriente para el equilibrio está bordeado por un vertedero de 47,50 metros situado en la cota + 346. En el extremo

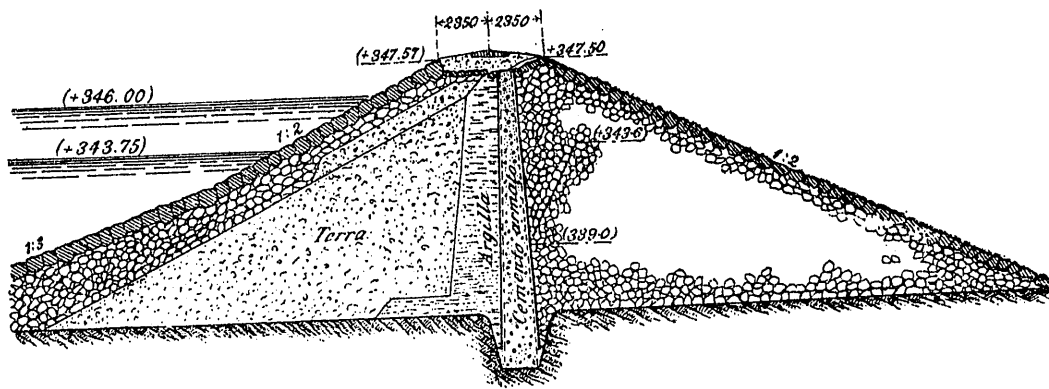


Fig. 4ª

cesariamente una variación brusca en el depósito de distribución y se producen oscilaciones hasta que el nuevo régimen de corriente vuelve a establecerse. Movimientos análogos, pero en sentido contrario, sobrevienen sincrónicamente para el vaciado en las galerías de equilibrio.

El cálculo de estas fluctuaciones ha podido hacerse por los métodos de Prasil (*Problema del golpe de ariete*, Schw. Banz., 1908) y de R. D. Johnson (*The surge tank in water power plants*,

meridional de este vertedero se ha practicado una abertura de 1,75 metros, que tiene su dintel en la cota + 342,30, cerrada por una cortina de viguetas y permitiendo la evacuación de los hielos y de los cuerpos flotantes.

Cabezas de las tuberías de carga.—Los muros de separación entre las cinco cámaras de introducción tienen un espesor de 5 metros, determinado por la distancia de 12 metros entre los planos medios de los grupos motores y la anchura de 7 metros

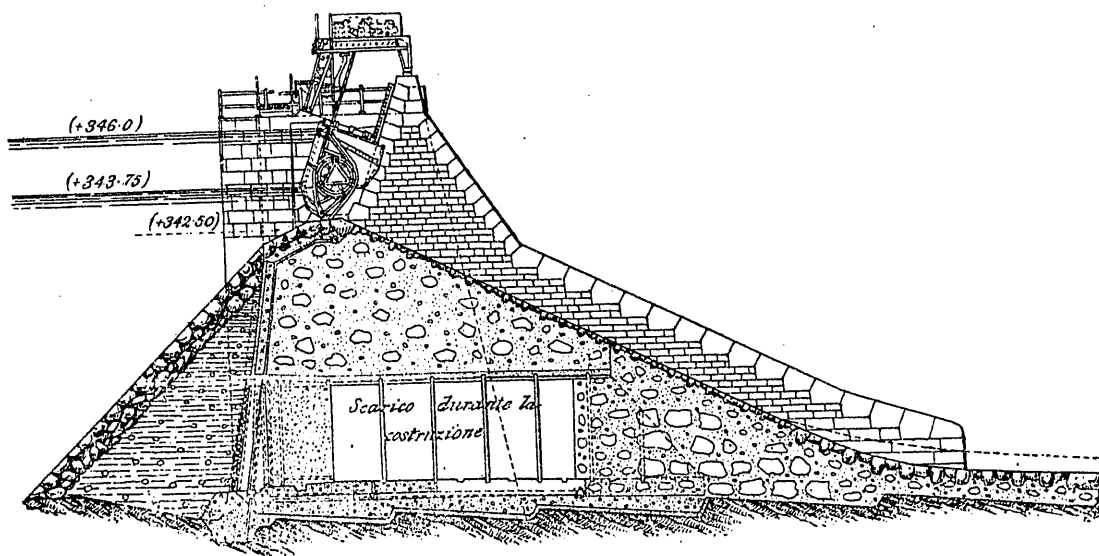


Fig. 5ª

Proc. of AS. ME, 1908). La mayor variación de carga piezométrica llega a 2,70 metros y se produce casi un minuto después de su iniciación. La lentitud de estas variaciones es, pues, bastante pronunciada para no actuar sobre la velocidad de las turbinas cuyo regulador automático basta para limitar convenientemente la marcha.

Una disminución súbita de 30 metros cúbicos en el consumo podría ocasionar accidentes; por ejemplo, un cortocircuito que puede tener por consecuencia reducir el consumo de 100 metros cúbicos a cero. En este caso entra en juego la columna de compensación que está calculada para poder almacenar 100 metros cúbicos antes que el agua se eleve por encima del muro de cintura del depósito.

Entonces el agua, subiendo a plena sección en el pozo verti-

reconocida como la más conveniente para cada cámara. El sistema de cierre de las entradas está formado por potentes compuertas de hierro de 7 metros de anchura y 4 metros de altura formadas de cuadros de hierros en I y de placas de palastro; las disposiciones para el rodamiento y la transmisión de las presiones son análogas a las de la compuerta de toma de agua.

Sala de máquinas (fig. 3ª).—La sala de máquinas tiene 11 metros de anchura y 11,5 de alta, la longitud en la actualidad es de 95 metros; las cámaras de las turbinas tienen 15 metros de profundidad, 5,85 de anchura y 4 de altura. Los desmontes por medio de minas se han tenido que hacer con las mayores precauciones para prevenir los derrumbamientos; las paredes han recibido, así como la bóveda, un revestimiento de cemento detrás del cual está alojada la circulación de aire para la ventilación.

En invierno, se calienta preliminarmente este aire para evitar los perjuicios que podría causar á la máquina eléctrica si llegase á la temperatura exterior.

Las turbinas entregadas por los talleres Nydqvist y Holm de Trollhättan, se han probado para una carga de 115 metros. A cada una corresponde un regulador hidráulico que puede limitar las variaciones de velocidad, respectivamente, á 15,6 ó 3 por 100 según las variaciones de la carga máxima. La introducción del aceite necesario para la regulación de las turbinas se consigue por una bomba especial, movida por correa con otra bomba de reserva movida por un electromotor. Para la producción del aire comprimido en las campanas de compresión adonde debe llegar á 20 atmósferas, está instalado un compresor que sirve para todos los grupos.

El puente móvil de la sala de máquinas tiene una longitud de 10,50 metros, moviéndose sobre unas vigas soportadas por los contrafuertes del revestimiento de hormigón. El carretón de maniobra eléctrica puede levantar una carga de 80 toneladas

bién soportarse con un máximo de acción magnética. Los devanados de los inducidos se han ensayado durante una media hora á la tensión efectiva de 20.000 voltios (monofásica), tanto entre el inducido y el estator como entre los otros elementos en oposición. Ha sido necesario, sobre todo, tomar precauciones particulares contra la humedad que tiende á precipitarse á lo largo de los brazos de los rotores y que se llega á eliminar de una manera inofensiva. Sobre otras particularidades relativas la construcción de las dinamos puede consultarse el séptimo cuaderno del *Elektrotechnik*.

Los transformadores están provistos de circulación de agua fría, aislamientos de aceite, y pueden soportar un exceso de tensión de 70.000 voltios.

La corriente trifásica se lleva de Porjus á Gellivare (53 kilómetros) y á Kiruna (118 kilómetros) por líneas dobles separadas que corren primero paralelamente de Porjus á Knosakåbbo; estas líneas comprenden seis conductores de cobre de 40 milímetros cuadrados y dos líneas de tierra que presentan una super-

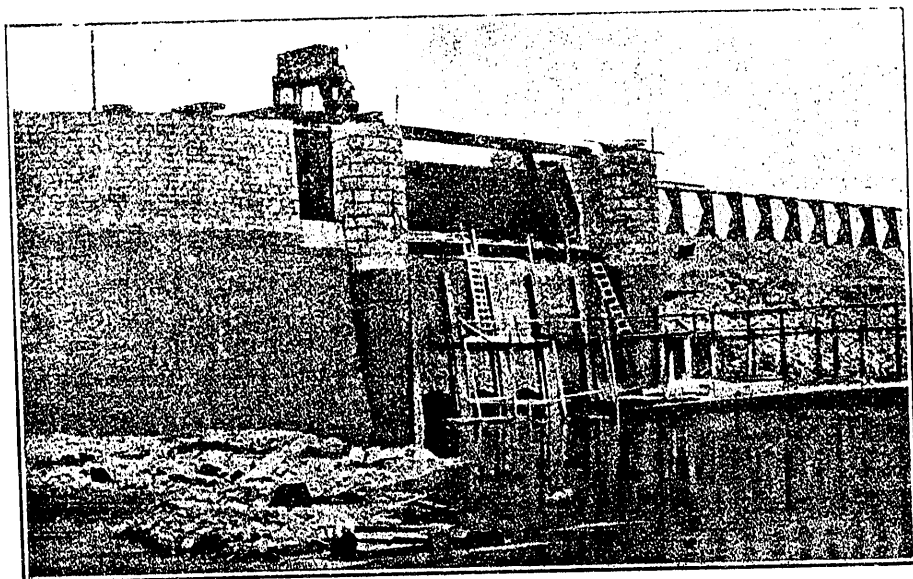


Fig. 6.^a

con 7 metros de recorrido y una velocidad de 1,50 metros por minuto, pudiendo llegar esta velocidad á 7 metros con una carga de 10 toneladas.

Túnel de descargas.—La longitud del túnel de descarga contada á partir del primer tubo de descarga llega á 1 274 metros; su sección normal es idéntica á la del túnel de carga, la existencia de algunas capas de arcilla en la roca ha hecho necesario en algunos puntos el refuerzo de la galería por medio de bóvedas de hormigón. Al desembocar en el tramo de agua abajo (Lillselet) la cabeza del túnel está provista de ranuras que permiten el cierre por una cortina de viguetas.

Talleres.—La mayor parte de las mamposterías de los talleres es de ladrillo con materiales especiales para el revestimiento de las fachadas que deben resistir grandes fríos. Se ha recurrido al cemento armado para las partes que tienen que transmitir esfuerzos importantes tales como los soportes de los caminos de rodamiento, aparatos de elevación, pasarelas, etc. La techumbre está soportada por una armadura de hierro estudiada de manera que resista al viento la parte superior del edificio.

Instalación eléctrica.—Las dinamos para la corriente trifásica se han calculado de manera de dar 11.000 kilovatios con $\cos \varphi = 0,8$, pudiendo la elevación de la temperatura llegar á 45°. Con una elevación de 60° pueden dar 13.500 kilovatios, siendo $\cos \varphi = 0,75$; ó sea un esfuerzo máximo de 14.000 caballos. Estas dinamos están acopladas en serie.

La construcción mecánica se ha dispuesto de manera de soportar durante diez minutos un aumento de velocidad de un 85 por 100 sobre la normal; los cortocircuitos pueden tam-

bién soportarse con un máximo de acción magnética. Los devanados de los inducidos se han ensayado durante una media hora á la tensión efectiva de 20.000 voltios (monofásica), tanto entre el inducido y el estator como entre los otros elementos en oposición. Ha sido necesario, sobre todo, tomar precauciones particulares contra la humedad que tiende á precipitarse á lo largo de los brazos de los rotores y que se llega á eliminar de una manera inofensiva. Sobre otras particularidades relativas la construcción de las dinamos puede consultarse el séptimo cuaderno del *Elektrotechnik*.

Los postes que soportan los cables están formados de dos montantes de hierro ó de viguetas de celosía para el caso de tracciones con traviesas de abrazaderas de $40 \times 64 \times 6$ milímetros, y diagonales en hierro redondo de 16 milímetros. Los montantes están espaciados 4 ó 5 metros, su altura corriente es de 14 metros. La tirada normal entre un poste y el siguiente puede llegar á 190 metros. En casos excepcionales se ha admitido una tirada superior á 225 metros. Los tres cables de cobre están establecidos sobre un mismo plano horizontal en lo alto de cada poste, están tendidos de manera que á la temperatura de -15°C . y con una fuerza de viento de 75 kilogramos por metro cuadrado no tengan que soportar una tensión mayor á 12 kilogramos. La tensión variará según el peso del hielo, como se indica en el cuadro siguiente:

Para una tirada de.	190 m.	225 m. (máximo)
0,5 kilogramos de hielo por metro cuadrado..	17,9 kg. por mm ²	18 kg. por mm ²
1.....	22,3 »	23,9 »
1,5.....	27,2 »	29,4 »
2.....	33,7 »	35,6 »

(Continuad.)