

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

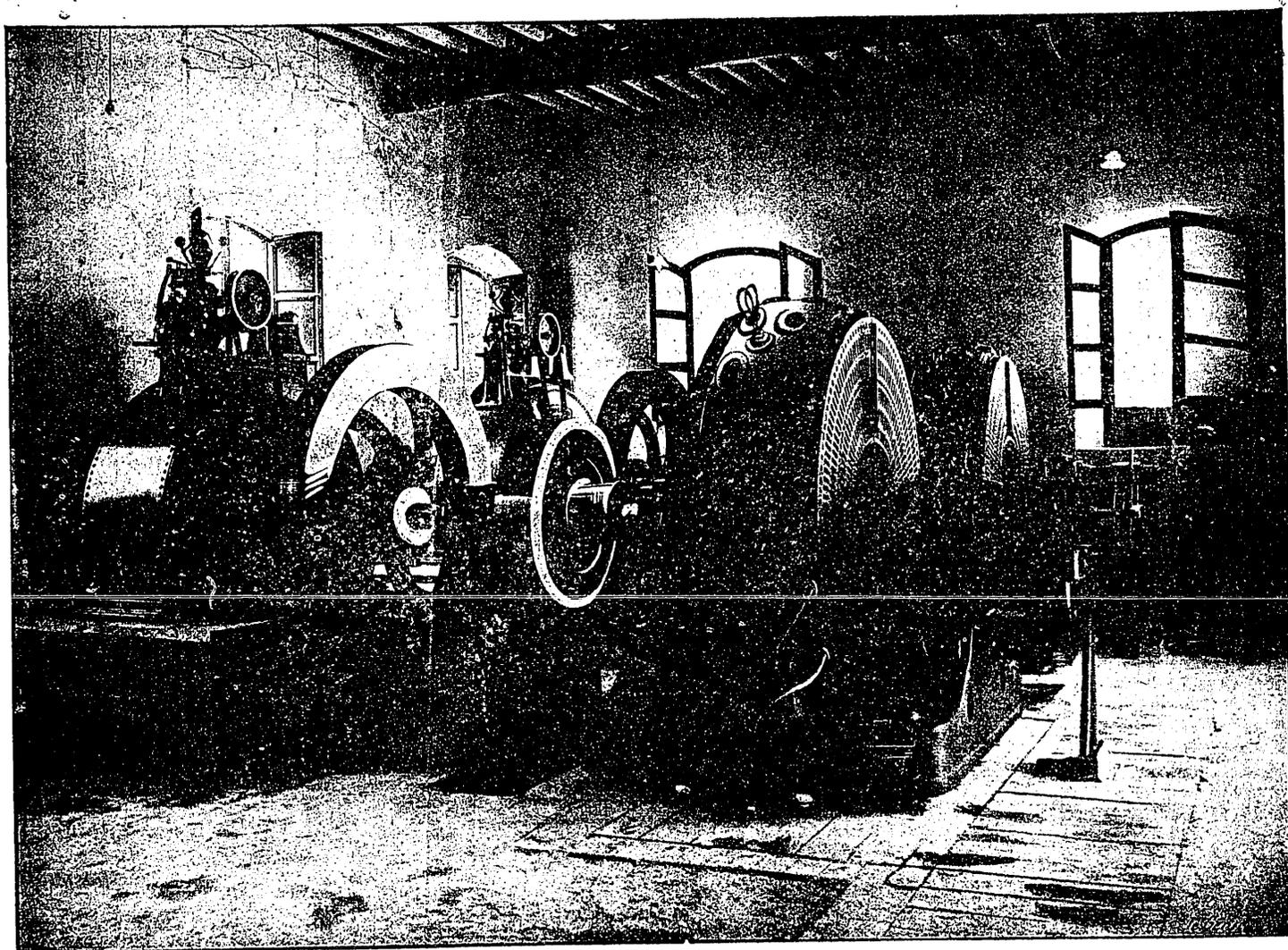
FUNDADA Y SOSTENIDA POR EL CUERPO NACIONAL DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

Redactor-Presidente Excmo. é Ilmo. Sr. D. Leonardo de Tejada, Inspector general del Cuerpo.
Redactores Los Sres. Presidentes de las Comisiones regionales de Ingenieros.
 D. Antonio Sanjurjo, Profesor de la Escuela de Caminos.
 D. Manuel Maluquer, Ingeniero del mismo Cuerpo, *Secretario*.
Colaboradores Todos los Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

SE PUBLICA LOS JUEVES

Redacción y Administración: Puerta del Sol, 9, pral.

Las nuevas estaciones eléctricas de Granada.



(Fig. 12.)—Vista de dos de los grupos electrogeneradores.

Central hidro-eléctrica.—En el año 1893 una empresa local, la Compañía General de Electricidad de Granada, instalaba una modesta Central á vapor de 70 hp. de fuerza. Una sola máquina de vapor á gran velocidad, acoplada á una dinamo, una caldera multitubular, una bomba alimentaria y algunos instrumentos de medida y seguridad, desperdigados en un tablero de enormes dimensiones, constituían el material de esta Central primitiva.

La Compañía General de Electricidad no tardó en comprender que de una instalación en estas condiciones no podía esperarse ni grandes utilidades para la empresa ni legítima satisfacción para el público granadino.

Tuvo entonces la fortuna la Compañía de contar entre sus individuos un hombre de gran acometividad y clara inteligencia y el acierto de comprenderlo así y de designarle para el puesto de presidente del Consejo de Administración.

Encamináronse los esfuerzos del nuevo presidente, don Manuel Tejeiro, á obtener la concesión de un aprovechamiento de las aguas del Genil que permitiese obtener la fuerza necesaria para la nueva instalación.

La Compañía General de Electricidad encargó al Ingeniero electricista D. Manuel Crusat el estudio de esta nueva Central, que debía utilizar la fuerza de 2.000 hp., des-

arrollada por un salto de 104 metros, que es uno de los más hermosos de España, creado derivando las aguas del río Genil por medio de un canal de 5 kilómetros, obra atrevida, en su género, por las condiciones excepcionales de la región agreste en que se desarrolla.

Llevados los estudios con actividad, se firmaba pocos meses después con la Sociedad de electricidad Alioth, de Munchenstein Bâle (Suiza), el contrato para la construcción de todas las instalaciones mecánicas y eléctricas.

I

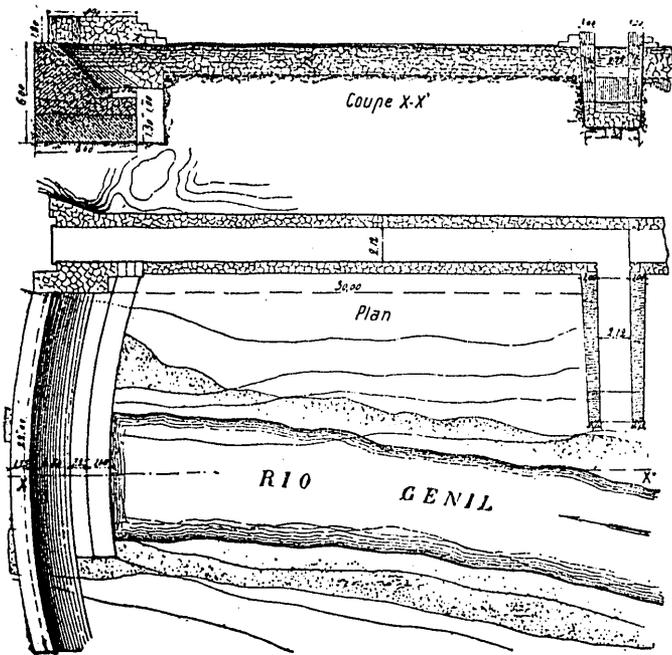
Presa y canal.—La nueva Central, que utiliza las aguas del Genil, está situada á 10 kilómetros de Granada, aguas arriba del pintoresco pueblecillo de Pinos-Genil. Cinco kilómetros más arriba, en una estrecha garganta perdida entre las estribaciones de la Sierra Nevada, se ha establecido la presa que deriva las aguas del río, cuyo caudal en estiaje medio es de 2.000 litros por segundo. Pero en épocas de crecida, cuando el sol de primavera comienza á fundir las enormes masas de nieve que blanquean la sierra, el caudal alcanza una cifra quince ó veinte veces mayor.

La presa (figuras 2, 3 y 4) tiene la forma curva de un arco de círculo de 60 metros de radio y 25 metros de cuerda, con la convexidad hacia la parte de aguas arriba. La altura de la obra es de 6 metros; su anchura en la base, de 6,40 metros, y de 1,25 en la coronación.

Este macizo se estriba á ambos lados en la peña y descansa, asimismo, sobre roca, con interposición de una capa de hormigón de 1 á 2 metros de espesor.

Fuertes anclajes de hierro reúnen entre sí los sillares.

En la embocadura del canal se ha colocado una compuerta, y á 30 metros de la entrada existe un canal de descarga con un juego de dos compuertas que permite regularizar el caudal en tiempo ordinario y vaciarlo cuando es preciso (figuras 2 y 3.)

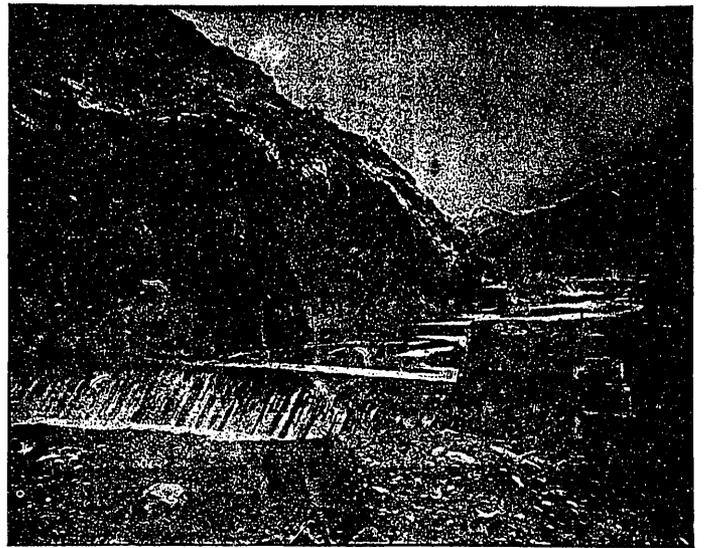


(Figs. 2 y 3.)—Planta y corte de la presa y del canal de derivación.

El canal descubierto tiene una longitud de 5 kilómetros aproximadamente, y su trazado sigue, en general, las sinuosidades de la garganta por donde discurre el Genil, salvando los ángulos demasiado agudos por medio de unos 20 túneles cortos, de los cuales el mayor tiene 180 metros.

La sección del canal es de 2,12 metros de ancho por 1,30 de altura y permite, con su pendiente de 2,8 por 1.000, dar paso á 2 metros cúbicos por segundo.

En su parte abierta lo forman dos muretes de mampostería de 0,50 metros de grueso; el lecho del canal está abierto, generalmente, en la roca que forma la solera del mismo.



(Fig. 4.)—Presa y entrada del canal de derivación.

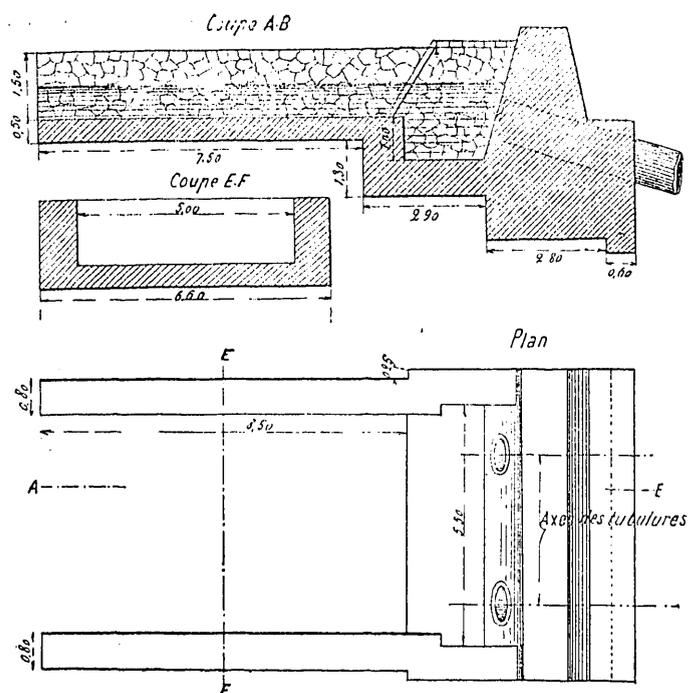
En algunos puntos cortan el trazado profundas cañadas, que ha sido preciso cruzar por medio de acueductos; así sucede en el barranco de Anita (kilómetro 0,750), donde existe un acueducto de 16 metros, y en Barranco Blanco (kilómetro 2), que el canal atraviesa sobre un acueducto de 60 metros de longitud, repartidos en cuatro ojos (fig. 9.)

Además, en varios puntos ha sido preciso proteger el canal por medio de una bóveda, contra los aluviones en invierno y las aguas torrenciales en otras épocas del año.

El canal que, siguiendo la ladera izquierda, se aparta del río antes de llegar al pequeño pueblo de Canales, pasa luego por debajo de éste, describe una curva, atraviesa un túnel y penetra por el sitio llamado Tajo de Canales, en la parte más salvaje de su recorrido, angosto y sinuoso desfiladero dominado por abruptos acantilados, donde el canal asemeja débil surco trazado en gigantesca muralla, de áspera roca, como suspendido á trechos sobre el abismo, en cuyo fondo se despeñan en bulliciosos torbellinos las aguas del Genil.

Después de un largo trecho los montes se apartan, las vertientes se suavizan, distínguese á lo lejos la vega incomparable de Granada, y más cerca, con sus ruinosas casas agrupadas, junto al río, el pueblo de Pinos-Genil. Aguas arriba, junto á los primeros árboles, álzase el edificio-fábrica, construído con la sólida y rústica arquitectura que conviene á la rudeza del clima y á la aspereza del lugar.

El canal termina (figs. 5, 6 y 7) en una cámara de agua de 5 metros de ancho, de la cual parte la tubería por donde descende el agua á las turbinas. Actualmente sólo se emplea una tubería, pero como para la utilización de la fuerza total habrá de montarse otra igual, se han colocado, desde luego, para facilitar esta operación, dos tubos de salida en la cámara superior. Esta puede vaciarse fácilmente cerrando el canal á una distancia de 100 metros aguas arriba y abriendo un vertedero que en dicho punto



(Fig. 5, 6 y 7).—Planta y cortes de la cámara de agua.

se ha dispuesto aprovechando el lecho natural de una cañada ó barranco (fig. 10.)

Gruesas rejas impiden que las piedras ó maderas arrastradas por el agua penetren en las tuberías. La embocadura de éstas, que es cónica, y el primer tubo son de fundición. La entrada del agua puede graduarse á voluntad por compuertas movidas á mano por un juego de engranajes.

La longitud de la tubería es de 265 metros. Divídese en dos secciones: la primera de éstas ofrece una pendiente de 33 por 100, mientras que la segunda alcanza una inclinación de 63 por 100. El salto total es de 104 metros, de los cuales 4, próximamente, pueden considerarse perdidos por el roce, marchando á plena carga y por la pendiente del desagüe.

La tubería tiene un diámetro uniforme interiormente

de un metro, y deja pasar un caudal de 700 litros de agua por segundo á la velocidad de un metro.

Los tubos de acero Martín-Siemens tienen 6 metros de largo, y cada uno está formado por 5 planchas roblonadas con un cuidado especial, cuyo espesor aumenta desde 4 milímetros, en los primeros segmentos próximos á la cámara superior, hasta 14 milímetros en la parte inferior, donde la presión es de 10 atmósferas.

Cada tubo descansa sobre macizos de mampostería (figura 11). Las uniones se hacen por medio de bridas atornilladas con interposición de discos de caucho.

Una junta de dilatación, cuya hembra está empotrada en la mampostería, ha sido colocada en el extremo superior de cada una de las dos secciones de distinta pendiente en que se divide el perfil de esta tubería. La parte macho se compone de una pieza torneada exteriormente y ajustada en un *stuffing box* ó caja de estopas, con guaración de cáñamo, cera y sebo. Para obligar las estopadas á trabajar (pues las variaciones anuales de temperatura pueden alcanzar 60°-c), el extremo inferior de dichas secciones se ha empotrado también en una longitud de 6 metros en la sección alta, á 18 metros en la sección baja, detrás de la fábrica.

Un tubo de aire se ha colocado en el punto culminante de la tubería para permitir la entrada del aire cuando se vacía y la salida cuando se llena.

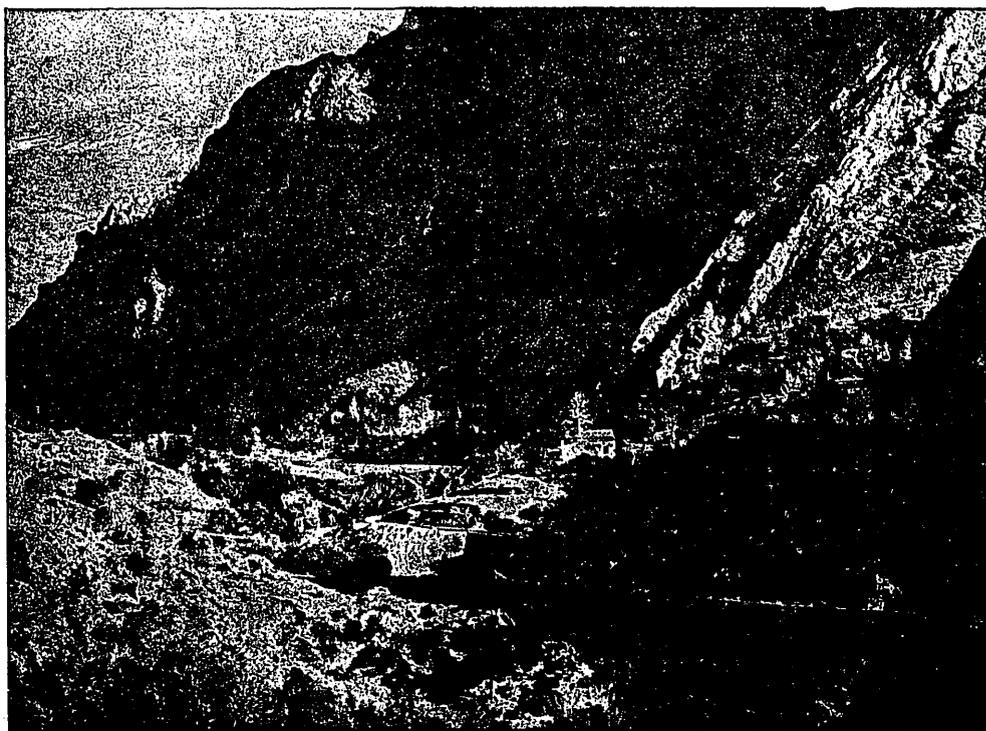
II

Central generatriz.—El edificio de la Central (fig. 11) ha sido construido para los cinco grupos, de 350 hp. cada uno, que formarán la instalación completa.

La cimentación es de hormigón; la obra de sillarejo y ladrillo.

Las máquinas ocupan toda la planta baja. En el primer piso se encuentran las viviendas de los vigilantes, una oficina y un pequeño taller.

La tubería de distribución del agua, colocada horizontalmente detrás de la fábrica y en dirección paralela á ésta



(Fig. 8).—Vista general del canal á cielo abierto.



(Fig. 9.)—Acueducto del Barranco Blanco.

llevará, cuando esté completa, dos piezas en forma de T para el empalme con las tuberías de bajada y 5 válvulas de mariposa, montadas sobre otros tantos empalmes para las 5 turbinas. Hoy se ha colocado la parte correspondiente á una tubería de bajada y 3 turbinas.

Las compuertas, oscilantes, llamadas de mariposa, que dan entrada á las tuberías de las turbinas, tienen 0,740 metros de luz y reciben el movimiento desde el interior de la fábrica por medio de un tornillo sin fin.

Turbinas.—Las turbinas han sido construídas en los talleres Piccard & Pictet, de Ginebra, tan conocidos como

especialistas en la construcción de turbinas para electricidad. Son de eje horizontal y se acoplan directamente á los alternadores por medio de manguitos de unión elásticos y aisladores.

El árbol descansa sobre dos anchos coginetes de engrase automático por medio de anillos. En uno de los extremos se encuentra el rodete de la turbina; en el otro el manguito de conexión.

Entre los dos apoyos se encuentra el volante de 2.000 kilos de peso que contribuye, con el regulador, á mantener perfectamente constante la velocidad de rotación del motor.

La llanta del volante, que pesa por sí sola 2.000 kilos, está animada de una velocidad de 30 metros por segundo.

El agua motriz llega á la turbina por un tubo horizontal de 0,50 metros de diámetro interior que penetra en el centro de la rueda, donde termina en el distribuidor.

La disposición que acabamos de describir, en la cual el árbol no atraviesa de parte á parte la rueda móvil, que se encuentra montada en el extremo del eje, fuera ya de los coginetes, es nueva y puede parecer, á primera vista, algo atrevida.

Sin embargo, ha sido empleada con mucha frecuencia, y siempre con los más satisfactorios resultados, en turbinas de gran potencia por la casa Piccard & Pictet. Una de las principales ventajas de este sistema, entre las muy numerosas que ofrece, reside en que se dispone de esta suerte en el interior del rodete, de amplio espacio para colocar convenientemente los inyectores y sus órganos de regulación, mucho más accesibles así y en mejores condiciones de buena conservación que si la turbina está colocada entre los coginetes.



(Fig. 10.)—Vista general de la fábrica y de la tubería.

Aunque el trazado de los álambos está hecho para la libre desviación de la vena líquida, como en las turbinas llamadas comunmente de Girard, el órgano que regula la admisión de agua en las turbinas de Granada, es muy distinto del que comunmente se emplea en aquellas donde el cierre en forma de corredera se aplica contra los orificios del inyector con una fuerza proporcional á la presión del agua. Como este órgano, por hallarse sumergido, no puede recibir engrase, el roce entre ambas superficies en contacto es muy duro, y produce en ellas un desgaste de consideración que la interposición de arenas ó limo, inevitable con las aguas turbias, hace mayor todavía.

En las turbinas de la Central que nos ocupa, los dos inyectores no tienen pieza móvil alguna. El cierre que modera la sección del orificio de inyección es exterior al distribuidor y gira alrededor de un eje que, por hallarse fuera del agua, puede engrasarse perfectamente. Toda la presión del agua ejercida sobre la periferia del cierre se transmite sobre este árbol bien lubricado, donde la amplitud del movimiento es muy reducida; la resistencia debida al roce que se opone á los movimientos del cierre obturador es excesivamente débil, y el desgaste que produce de todo punto imperceptible.

La tobera, ó piso del inyector, lo mismo que el cierre, son de bronce, metal que resiste mejor que la fundición el desgaste ocasionado por el agua. La sustitución de estas dos piezas, las únicas sometidas á un lento deterioro, no representa más que un gasto pequeñísimo y permite conservar siempre, después de muchos años de marcha, un inyector en excelentes condiciones de funcionamiento. Las paredes interiores del orificio del inyector presentan curvaturas determinadas por la experiencia y tales, que la dirección de la vena líquida que se escapa de aquél, es constante, sea cual fuere la amplitud de la abertura libre. Esta propiedad es utilísima, pues resulta de ella un rendimiento notablemente elevado para la turbina con los caudales parciales, generalmente muy mal aprovechados por las turbinas de otros sistemas.

Los reguladores de estas turbinas son del sistema Piccard, á servo-motor, bien conocidos y sobre cuya descripción no insistiremos. Unicamente diremos que las condiciones de regularización impuestas á los constructores, y que éstos han cumplido con exceso, han sido muy estrechas, pues consistían en mantener las variaciones de velocidad entre límites inferiores al 1 por 100 de la velocidad normal á plena carga y al 3 por 100 cuando la carga variase bruscamente en un 25 por 100.

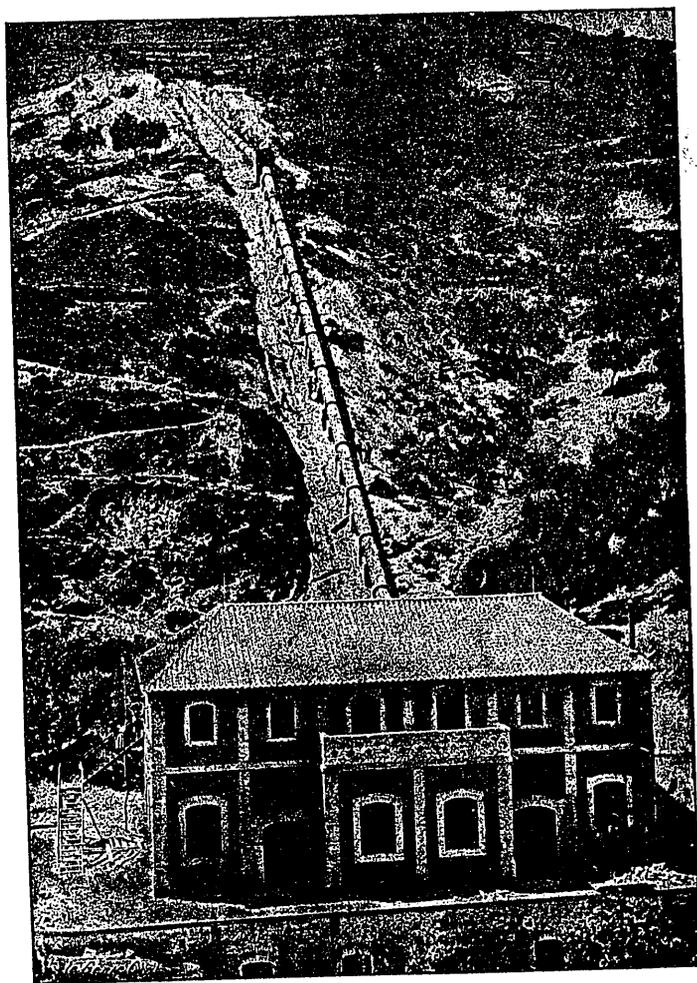
Dinamos.—Los alternadores son del sistema Alioth y tienen el inducido fijo y la excitación móvil y producen una corriente alterna simple de 54 amperes á una tensión de 4.200 volts.

El bastidor ó zócalo lleva dos robustos coginetes provistos de engrases automáticos y entre ellos la corona del inducido, de fundición, perforada por numerosas aberturas de ventilación.

Las 18 piezas polares de esta corona, colocadas radialmente en el interior, se componen de hojas de medio milímetro de espesor de plancha de hierro al carbón de leña y de papel.

Los 18 carretes inducidos, arrollados previamente, están formados de 87 metros de hilo de cobre de 3,5 milímetros de diámetro, cuyo aislamiento de 0,5 milímetros de espesor le da un diámetro exterior de 4,5 milímetros.

Abrazan las expansiones polares y están alojados en los huecos que forman los 18 intervalos sucesivos; estos huecos están revestidos de un fuerte aislamiento de cartón preparado, mientras las 60 vueltas de hilo de cada carrete están bien aisladas por una cinta de goma-laca.



(Fig. 11.)

Los 18 carretes inducidos forman una serie de nueve elementos conectados en paralelo. Si todos los carretes formasen una sola serie, existiría entre el primero y el último, que resultarían yuxtapuestos, una diferencia de potencial igual á la tensión total de la máquina, inconveniente que se evita con la disposición indicada.

El campo de excitación se compone esencialmente de un disco de acero fundido cuya periferia lleva un carrete de excitación único y una doble serie de piezas polares dirigidas axialmente y que alternan en un sentido y en otro de modo á abrazar el devanado.

Las extremidades polares hojeadas son en número de 18. El carrete de un diámetro medio de 1,20 metros, se compone de 525 vueltas de hilo de cobre de 4 1/2 milímetros, revestido de un aislamiento que le da un diámetro exterior de 5,5 milímetros; la longitud total del hilo es, pues, próximamente 2 kilómetros y su resistencia de dos ohms. Sus dos extremos están conectados á los anillos de excitación que por medio de escobillas reciben de la excitatriz una corriente de 35 amperes á plena carga, á la tensión de 70 volts.

El diámetro del inductor es de 1,670 metros y el de la corona inducida de 1,654 interiormente; quedando un entre-hierro de unos 8 milímetros. Siendo la velocidad de la máquina de 350 vueltas, la de la periferia es de 30 metros

por segundo; la frecuencia es de 52,5 períodos ó de 630 alternancias por minuto.

El inducido de la excitatriz está montado sobre la prolongación del árbol, hallándose el colector colocado exteriormente al alcance de la mano del electricista; el cuerpo de la máquina con sus dos carretes de shunt está al exterior del primer coginete de la máquina y descansa sobre un apoyo ó consola saliente de fundición que sobresale en la parte anterior del bastidor.

Toda la máquina está aislada del suelo por bloques de porcelana, evitándose así todo peligro de avería en las máquinas por el rayo.

Como el servicio de una máquina de alta tensión aislada podía presentar peligros para los maquinistas si no están también aislados del suelo, hase dispuesto alrededor de las máquinas un piso de madera que descansa sobre bloques de porcelana.

Cuadro de distribución.—El tablero de mármol blanco es tan sencillo como lo permite el acoplamiento de las máquinas para la marcha en paralelo. El transformador que sirve para el alumbrado de la Central está provisto de un corrector á mano, que permite mantener la tensión de la corriente secundaria constante, mientras que la tensión primaria aumenta necesariamente con el consumo para compensar las pérdidas sobre la línea.

Por las mismas razones el voltímetro central lleva un corrector también, pero automático, y regulado por la corriente misma de la línea. Gracias á esta disposición, el instrumento indica siempre la tensión media sobre la red.

Los interruptores de alta tensión sistema Aliot, que se ven representados en la figura 13, son de una construcción especial muy bien entendida y llenan perfectamente las condiciones que se requieren en un aparato de esta clase: ruptura brusca, separación grande entre los contactos cuando el circuito está abierto y colocación del interruptor, propiamente dicho, en la parte superior del tablero fuera del alcance de la mano, evitándose así todo peligro para el electricista que lo maneja, desde abajo, por medio de una larga biela y una palanca perfectamente aisladas.

Los cortacircuitos del circuito de alta tensión tienen los fusibles encerrados en un tubo de vidrio que termina en dos piezas metálicas, las cuales se ajustan en los contactos fijos montados sobre puentes de porcelana. De esta suerte se puede sin peligro retirar un tubo con su fusible y sustituirlo por otro.

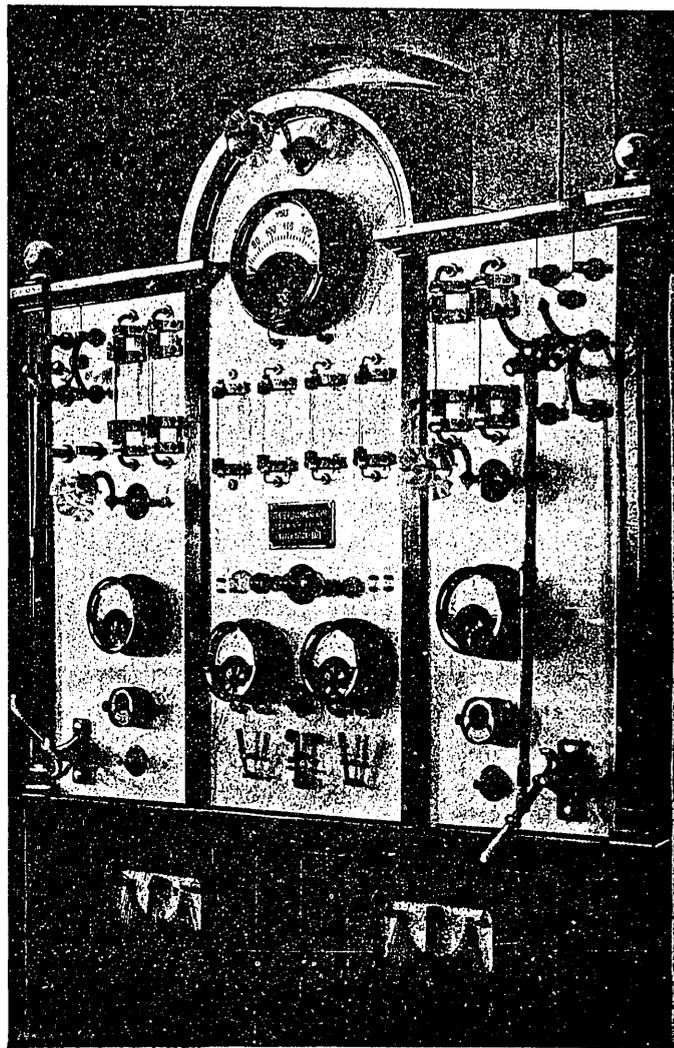
Dos para-rayos del modelo especial de la Sociedad de electricidad Alioth para líneas de alta tensión, provistos de apaga-chispas automáticos, conducen á tierra las descargas atmosféricas.

La conducción á tierra de estas descargas hállase facilitada por la ausencia de auto-inducción sobre el camino que han de recorrer é inversamente puede impedirse el acceso de ellas á los aparatos que se quiere proteger oponiendo auto-inducción al rayo. Este resultado se consigue á veces colocando carretes especiales; en el caso que nos ocupa se ha creado sencillamente sobre cada conductor de la línea un punto de retroceso, cuyo vértice ocupan el para-rayos automático y su línea á tierra.

En la Central de Pinos-Genil el funcionamiento seguro de estos aparatos era tanto más necesario cuanto que diariamente se observan, con mucha regularidad, intensas

descargas atmosféricas sobre la línea de alta tensión, en el momento de la puesta del sol.

Este fenómeno se debe muy probablemente al perfil longitudinal de la línea que presenta desde la central hasta Granada una pendiente suave, interrumpida bruscamente hacia la mitad del camino por una desnivelación del terreno formada por una colina de 70 metros de altu-



(Fig. 13.)—Cuadro de distribución.

ra, en cuyo punto la línea viene á establecer una comunicación y provocar descargas entre las capas atmosféricas frías que yacen en el fondo del valle, cargadas á un potencial determinado, y las capas superiores caldeadas todavía por el sol poniente y cargadas á un potencial distinto.

III

Líneas y red de distribución.—La línea se compone actualmente de dos conductores de cobre desnudo de ocho milímetros de diámetro que permiten transportar á 10 kilómetros una fuerza de 350 hp. con una pérdida de 8 por 100 ó una fuerza de 700 hp. con una pérdida doble.

Más tarde se tenderá una segunda línea sobre los mismos postes.

Los postes de madera de pino, distantes por término medio 40 metros, penetran en el suelo con una hincada de 1'50 á 2'25 metros, profundidad considerable que ha sido preciso darles por la mala naturaleza del suelo y su sequedad extrema. Los pies de los postes han sido foguados y pintados después de alquitrán.

Los hilos de alta tensión están tendidos sobre aisladores de triple campana con cabeza verde y están á 8'50

metros de altura sobre el suelo. A siete metros de altura sobre los mismos postes están los dos hilos de acero de dos milímetros de diámetro de la línea telefónica que reúne la Central con Granada. Estos hilos no se cruzan más que en un solo punto determinado experimentalmente con cuidado, de modo á anular los efectos de la auto-inducción.

Antes de penetrar en la población el conductor desnudo recibe un fuerte aislamiento. La línea á su llegada se dirige á una caseta metálica de forma cilíndrica donde está colocada una estación de pararrayos automáticos y donde se van á montar los transformadores destinados al alumbrado de los paseos vecinos.

A partir de esta estación de llegada los conductores, siempre revestidos de su aislamiento superior y de 5'5 milímetros de diámetro, describen un anillo cerrado de cinco kilómetros de desarrollo, tendido á cuatro metros de altura por encima de los tejados sobre robustos montantes metálicos.

para atender á la extensión del servicio. Estos transformadores son del tipo Alioth, con campo magnético cerrado y núcleo; dos cortacircuitos de alta tensión y otros dos de baja tensión les protejen.

Una lámpara testigo permite ensayarlos antes de conectarlos con el circuito del alumbrado y un interruptor tripolar permite separarlos de la red secundaria. Estos aparatos están colocados sobre tableros de mármol en las casetas de transformadores.

Esta es trifilar y la tensión en ella de 2×125 volts.

Su desarrollo total alcanza hoy 50 kilómetros de conductor de cobre desnudo que alimenta 50.000 bujías.

Las aplicaciones de la fuerza motriz están llamadas á desarrollarse mucho con las fábricas de azúcar, papel, productos alimenticios, etc., y en muchas pequeñas industrias, dada la fuerza considerable de que dispone la estación Central.

Los motores de poca fuerza para la pequeña industria,



VISTA GENERAL DE GRANADA

Todos los cruces de las calles están protegidos por una red de seguridad que impide la caída del cable en el caso de una rotura. Diez líneas de empalme alimentan desde este anillo otras tantas estaciones de transformación.

Los kioscos ó casetas donde se abrigan los transformadores son, como hemos dicho, de forma cilíndrica y llevan dos puertas que permiten el fácil acceso á los transformadores colocados sobre fuertes estantes de hierro. La campana ó envoltorio exterior, suspendida por tres ruedas metálicas en la parte superior, puede girar de modo que las puertas se presenten en frente de cualquier costado de los aparatos.

Una derivación de la línea principal sube á la Alhambra, donde se ha colocado para el servicio de los hoteles y de algunos «cármenes» un transformador alojado, por singular contraste, en un pintoresco kiosco de estilo árabe.

La línea se prolonga hacia el valle del Darro, que atraviesa para ascender, por la opuesta ladera, hasta el célebre Colegio del Sacro-Monte.

La capacidad de las doce estaciones de transformadores era, cuando comenzó á funcionar la instalación, de 11 kwvts, así repartidos: cuatro transformadores de 46 vts, tres de 33, dos de 23, dos de 16 y uno de 16.

Actualmente se están montando otros transformadores

ventiladores, etc., se alimentarán con corriente monofásica. Pero los electromotores de mayor potencia se alimentarán con corriente trifásica, por cuyo motivo ya se ha previsto desde el principio que algunos alternadores de la Central serán polifásicos y se destinarán á la distribución de fuerza motriz.

La nueva instalación ha permitido á la Compañía general de electricidad establecer una rebaja de 30 por 100 sobre la antigua tarifa. La actual á precio alzado es como sigue: Lámpara de cinco bujías, 24 pesetas al año; de 10, á 36; de 16, á 54; de 25, á 84; de 32, á 107.

La tarifa por contadores es de una peseta por kilowatt-hora.

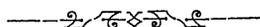
Las 5.000 lámparas de 10 bujías instaladas en la primavera última ardían con un coeficiente de simultaneidad, varias veces comparado, de 0,675, es decir, que se hallaban encendidas al mismo tiempo unas 3.375 lámparas, lo que representaba la carga de un grupo.

Cómo el consumo ha aumentado notablemente, se hizo necesario colocar un tercer grupo para tener siempre uno de reserva. En esta tercera unidad generatriz el alternador tiene todos los devanados fijos. Toda la instalación eléctrica ha sido construída y montada en el plazo de seis meses, á pesar de las inmensas dificultades que ha ofrecido

el transporte de máquinas de esas dimensiones por los malísimos y peligrosos caminos que conducen á la Central y de la importancia de los trabajos.

En el día fijado, víspera de las ferias, llegó la corriente á Granada y comenzó el servicio con el de las iluminaciones, continuándose después con regularidad. Es de advertir que al mismo tiempo se procedió á empalmar las antiguas instalaciones particulares con la nueva red, sin que los abonados sufrieran interrupción en el servicio por este cambio.

Como hemos dicho, la instalación de Granada ha sido proyectada por el Sr. Crusat, Ingeniero y delegado general en España de la Sociedad de Electricidad Alioth y por esta casa constructora. En los trabajos de montaje mostró mucha actividad é inteligencia el Ingeniero Sr. Gauchat. Las obras hidráulicas fueron dirigidas por el Sr. Orbe.



TEORÍA DE LAS FUNCIONES ELÍPTICAS (1)

Extracto de las conferencias dadas por D. José Echegaray en el Ateneo de Madrid.

(Continúa íón.)

Y, en efecto, en la resolución de muchos problemas matemáticos aparecen las integrales elípticas. Al determinar la ecuación de un péndulo, la relación entre θ y t , se llega á una integral elíptica. Al hallar la relación entre el arco s y la abscisa x en la elipse, se llega también á una integral de esa forma; y lo mismo sucede en multitud de ejemplos que podíamos presentar.

Estudiemos, por ejemplo, el caso de la elipse, la determinación de la relación entre s y x , y esto nos servirá como una justificación del calificativo de *elípticas*, que se da á las funciones que estudiamos. En la elipse sabemos que

$$ds = \sqrt{dx^2 + dy^2} = dx \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2}$$

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad \frac{x dx}{a^2} + \frac{y dy}{b^2} = 0 \quad \frac{dy}{dx} = -\frac{b^2 x}{a^2 y}$$

por consiguiente,

$$s = \int_0^x dx \sqrt{1 + \frac{b^4 x^2}{a^4 y^2}}$$

y sustituyendo, en esta última expresión, el valor de y en función de x , sacado de la ecuación de la elipse, y llamando e á la excentricidad

$$e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$$

resulta

$$s = \int_0^x dx \frac{\sqrt{a^2 - e^2 x^2}}{\sqrt{a^2 - x^2}} = \int_0^x \frac{a^2 - e^2 x^2}{\sqrt{(a^2 - x^2)(a^2 - e^2 x^2)}} dx.$$

El denominador es de cuarto grado; la integral es, pues, elíptica.

Expuestos estos preliminares, entraremos de lleno en el estudio de la forma general de las integrales elípticas; veremos como esta forma se simplifica, y determinaremos, en último término, la serie de tipos de cuya integración depende la solución del problema.

Este estudio lo haremos en el caso general, en que x es un polinomio de grado m ; es decir: supondremos que la integral es hiper-elíptica, pues el modo de operar es independiente del grado del polinomio. Sólo cuando hayamos determinado los tipos á que queda reducida la integración, dejaremos el caso general y consideraremos el particular, en que el grado del polinomio no pasa del cuarto, pues de continuar en aquella hipótesis, los cálculos se complicarían notablemente.

II

SIMPLIFICACIÓN DE LA INTEGRAL GENERAL

$$\int dx. F(x, \sqrt{X}).$$

La forma general de una integral hiper-elíptica, sabemos que es

$$\int F(x, \sqrt{X}) dx,$$

en la cual F es una función algebraica racional y X un polinomio de grado m en x ,

$$X = ax^m + a_1 x^{m-1} + a_2 x^{m-2} + \dots + a_m.$$

Observemos que este polinomio no debe tener más que raíces sencillas: pues si tuviera una raíz múltiple de grado par, el factor correspondiente $(x - r)^{2p}$ saldría fuera del radical; si la raíz fuera de grado impar, el factor correspondiente se descompondría en dos; uno de ellos $(x - r)^{2p}$ saldría del radical, y sólo quedaría dentro el factor sencillo $(x - r)$.

(Se continuará.)

JUAN GONZÁLEZ PIEDRA.

REDACCIÓN DE LA «REVISTA»

En la elección reglamentaria verificada por la Escuela de Caminos para el cargo de Profesor-Redactor de esta REVISTA, ha sido nombrado D. Antonio Sonier.

El Redactor saliente, D. Luis Gaztelu, ha recibido sinceros votos de gracias de la Comisión Central del Cuerpo y la Escuela de Caminos por el celo con que ha desempeñado su cargo en el último trienio, habiendo sido propuesta su reelección, antes de citar otro nombre alguno, que leclinó el Sr. Gaztelu, agradeciéndola sinceramente, por no disponer actualmente de tiempo para dicha colaboración. No se le olvidará fácilmente en esta casa.

El ilustrado Redactor entrante, D. Antonio Sonier, ha tomado posesión el sábado último de su cargo, que lleva anejo el de Vocal de la Comisión Central de nuestro Cuerpo. Reciba nuestra más afectuosa bienvenida.

(1) Véase el número anterior.