

# Madrid Científico

Revista de Ciencias, Ingeniería y Electricidad

## SUMARIO



### PROYECTOS DE SANTIILLANA

Obras construídas

PRIMERA PARTE

### OBRAS HIDRÁULICAS

Presa.

Forma y disposición general.—  
Desagües.—Cuerpo de la obra.—  
Coste de ejecución.

Canal.

Forma y disposición general.—Obras de fábrica más importantes.—Depósito partidor.

Tubería.

Casa de máquinas.

Conducción y elevación de aguas á Colmenar Viejo.

SEGUNDA PARTE

### INSTALACIÓN ELÉCTRICA

### Transporte de energía eléctrica

#### Elementos esenciales del transporte

Consideraciones sobre los elementos esenciales del transporte.

Historia de los transportes de fuerza.—Elección del sistema de corriente.—Tensión de 15.000 voltios.—Frecuencia de la corriente.

#### Descripción detallada de la instalación del transporte

Descripción de la Central de Colmenar Viejo.

Turbinas.—Alternadores.—Transformadores.—Cuadro de distribución.—Pararrayos.—Consideraciones sobre la Central de Colmenar Viejo.

Descripción de las líneas de transporte.

Línea de Madrid.—Conductores.—Aisladores.—Apoyos y soportes.—Montaje de la línea.—Medidas de seguridad.—Línea de Colmenar Viejo.

Descripción de las estaciones receptoras.

Elevación de aguas á Colmenar Viejo.—Estación transformadora para el alumbrado de Colmenar Viejo.—Estación transformadora de Madrid.

### Distribución de energía en Madrid

Consideraciones sobre la transformación de energía en Madrid.

Commutatrices.—Motores isocronos.—Motores eterocronos.

Central hidro-eléctrica del Palacio Real de Madrid.

Línea.—Central.

Central hidro-eléctrica de Chamberí.

Línea.—Central.

### Ensayos del material de la instalación

Ensayos del material de la Central de Colmenar Viejo.

Aparatos.—Rendimiento de cada grupo hidro-eléctrico.—Rendimiento de los alternadores.—Ensayos de los transformadores.—Ensayo de aislamiento.—Ensayo de tensión.

Ensayo de los aparatos accesorios, línea y transformadores rotativos.



# PROYECTOS DE SANTILLANA



Cuando hace tres años abordó el marqués de Santillana, asesorado por expertos ingenieros, el árduo problema de construir un salto de agua en el Manzanares, se pregun-

taban intrigadas las gentes que no se percatan de la existencia de la mina hasta que se hallan muy al descubierto los filones, de dónde iba á sacar el audaz financiero aristócrata, á menos que no repitiese la multiplicación de los panes y los peces, la materia prima para el utópico proyecto.

Se resistía creer que el Manzanares, el raquítico y menospreciado Manzanares, llevara en sus entrañas fecundos gérmenes de energía, y sirviera para algo más que para excitar á compasión la musa retozona de nuestros vates zarzueleros.

Mientras las gentes hacían cábalas respecto al caudal del Manzanares, los ingenieros de Santillana hacían cálculos tocante á lo mismo; y si de las cábalas del vulgo no resultaba muy bien parada la virtualidad industrial de nuestro río, de los cálculos hidráulicos de los ingenieros se desprendería que por el cauce del Manzanares circulaba anualmente un caudal de agua que convenientemente regularizado podía ser motivo de una vasta explotación.

Encariñado Santillana con la idea, puso manos á la obra, y sin apelar al auxilio de propios ni de extraños, se embarcó solo, completamente solo, en la atrevida empresa, cuando tan fácil le hubiera sido constituir una sociedad poderosa para afrontar en comandita los riesgos del negocio.

A reserva de describir más adelante las obras hasta ahora ejecutadas, que suponen bastantes duros en dinero, y muchos más en audacia y energía, para que los lectores juzguen en conjunto del vasto, acaso demasiado vasto, proyecto hidro-eléctrico de Santillana, basta fijar unos minutos la atención en la página contigua, que contiene en esbozo las líneas generales de los proyectos consabidos.

Propónese Santillana aprovechar las aguas de los tres ríos, el Manzanares, el Guadarrama y el Guadalix, represándolos convenientemente y utilizando sus caudales para producir saltos de agua, transportes de fuerza, riegos, abastecimiento de poblaciones y saneamiento de Madrid. Propónese, en suma, Santillana, resolver el gran problema hidráulico en toda su extensión.

Si nuestros lectores siguen con interés estas líneas, verán que Santillana aborda de frente y en toda su magnitud lo que llamáramos el sueño del hidráulico más empedernido. Gasset no ha ido más allá en sus brillantes especulaciones hidráulicas de verdadera transcendencia nacional, que Santillana en sus proyectos fluviales. Y cuántese que Santillana defiende sus convicciones de la manera más arriesgada que pueden defenderse, echando por delante su fortuna, ó sea haciendo lo que pudiéramos llamar la propaganda por el hecho.

Santillana coje un litro de agua, y quien dice un litro

dice muchos millones de litros, en las alturas de la sierra, lo hace pasar por el tamiz de varios saltos, donde va dejando crecientes cantidades de energía transportable á Madrid, y cuando ya ha estrujado suficientemente el líquido en saltos sucesivos, lo vuelve á recoger, ora para abastecer de aguas puras y cristalinas los barrios altos de Madrid, ora para fecundizar con el riego las esteparias márgenes del Manzanares. Dígase si puede pedirse más al más sectario de la Hidráulica. Ya hoy, en las obras ejecutadas de que después nos ocupamos, se revela la característica de sus proyectos. Ha elevado una presa en el sitio *A* del Manzanares, presa que, ampliada y recrecida en términos colosales, determinará uno de los grandes embalses futuros. Ha hecho un canal de 7 kilómetros y medio, desde la presa *A* hasta el lugar *B*, creando en *B* un salto de dos mil caballos. Mas en vez de conformarse con el salto, aprovechó la escasez de agua de Colmenar y las ofertas de su municipio, y desde el punto *B* derivó con tubería 10 litros de agua por segundo, para abastecer á Colmenar. Como este pueblo se halla situado más alto que la rasante del canal, le ha sido preciso establecer junto á Colmenar una máquina elevatoria, movida por la misma fuerza del salto. Y como con cuatro horas diarias hay tiempo sobrado para elevar las aguas que necesita el pueblo, las veinte horas restantes invierte la fuerza en hacer funcionar una fábrica de harinas. La combinación, como se ve, no puede ser ni más ingeniosa ni más útil para Colmenar, que se encuentra de la noche á la mañana con agua, pan y luz, mientras Santillana á su vez da ocupación permanente á esa fracción de sus 2.000 caballos.

Consignemos de pasada, que la línea de transporte de los dos mil caballos, ya completamente terminada y á punto de inaugurarse, cruza el Pardo en una longitud de varios kilómetros, y que S. M. la Reina, amante de cuantas reformas pueden mejorar el pueblo de Madrid, dió órdenes desde el primer momento á fin de que se otorgasen todas las facilidades necesarias para el cruce de la línea por los dominios del Real patrimonio. En igual forma se condujo el Ministerio de Agricultura por lo que respecta al cruce de la línea á través de la Moncloa.

Y volviendo á los vastos proyectos que integran la idea de Santillana, enumeremos, en rápido bosquejo, sus pensamientos respecto al Manzanares, al Guadarrama y al Guadalix. Propónese cortar el Manzanares, junto á su nacimiento, á unos 30 kilómetros de Madrid, por medio de una enorme presa, suficiente á embalsar 40 millones de metros cúbicos, ó más si fuere necesario. Dicho embalse, que en el plano se designa por la letra *A*, resultará un verdadero lago de unos 10 kilómetros cuadrados de extensión.

La gigantesca presa que habrá de producir el embalse referido, alcanzará dimensiones ciclópeas. Longitud, metros 525; altura, 29; espesor en la base, 25. Las cifras apuntadas son más elocuentes, que cuantas reflexiones nacidas á la vista de esos números pudiéramos exponer.

El embalse se ha calculado en vista de los aforos cuidadosísimos realizados durante varios años por hábiles ingenieros. Ante los gráficos de aforo que luego reproducimos, se sorprenderán de seguro cuantos tienen en muy escasa estima al Manzanares, del considerable caudal


 Canal proyectado.  
 Canal construido.



# PLANO GENERAL

DE

## LAS OBRAS PROYECTADAS.

que anualmente discurre por su cauce. Asombra realmente la diferencia de caudal que aparentemente existe entre el Manzanares observado en Madrid, y el propio río visto en los riscos de la sierra. No parecen el mismo, sino dos ríos diferentes. El fenómeno tiene muy sencilla explicación. En la sierra, el Manzanares discurre sobre un duro lecho de granito, de escasa permeabilidad, y muestra por tanto, todo su caudal al descubierto, mientras que al aproximarse á Madrid, pierde su lecho de granito y entra en un cauce arenoso y permeable, donde parece como que se esfuma y desvanece.

La misión de este embalse gigantesco, es, como puede suponerse, almacenar las aguas invernales, para luego ir las soltando paulatinamente en el verano. Dicho se está que por tal medio se regularizará el régimen del río, y se podrá asegurar la misma intensidad de corriente en verano que en invierno.

La permanencia del régimen resultará en extremo beneficiosa para el pueblo de Madrid, pues el Manzanares dejará de ser un peligro en las épocas torrenciales, y una infecta cloaca en los meses de sequía.

El decantado embellecimiento de sus márgenes, tema obligado en nuestro Municipio y en la prensa, cuando se trata de proyectos de reformas, será entonces de fácil ejecución. Hoy no es posible embellecer las márgenes de un río que tan pronto arrastra una enorme masa de agua como se queda casi en seco. En cambio, una vez obtenida la permanencia del régimen, toda semilla arrojada en tal sentido germinará rápidamente. Las márgenes del Manzanares, las solitarias y mal olientes márgenes de nues-

tro río, se trocarán ciertamente, cuando el proyecto de Santillana sea un hecho, no diremos que en un Versailles madrileño, pero sí en un saludable recreo de nuestra villa y corte. Llegado ese día, será empresa viable y poco costosa, encauzar el río en las proximidades de Madrid, y si se represa convenientemente dicho encauzamiento, se obtendrá un tramo de canal por donde circularán barquichuelos y hasta vaporeitos como en el estanque del Retiro. Para que no se tomen á exageraciones nuestros vaticinios, basta fijarse en que actualmente apenas si lleva el Manzanares, durante el estío, unos cuantos litros por segundo, y entonces llevará 3.000. O dicho de otra manera, para que todos nos entiendan: que el Manzanares llevará entonces en el verano la misma cantidad de agua que hoy lleva normalmente durante los meses de invierno. ¿Que de dónde se sacará el caudal veraniego, ya que el caudal normal del invierno lo dejamos subsistente? Pues del agua producida por el derretimiento de las nieves, amén de la enorme masa de agua que hoy discurre temporalmente por su cauce en las épocas de avenida, que entonces quedará aprisionada totalmente en el lago del embalse. Así se desprende rigurosamente de los aforos realizados.

El embellecimiento de las orillas del Manzanares, no figura, naturalmente, como parte integrante de los proyectos de Santillana, y compete exclusivamente á nuestro municipio, mas sí es consecuencia obligada y lógica del equilibrio de nuestro régimen fluvial. El día que el Manzanares sea un verdadero río, y á ello apunta indirectamente el proyecto, será muy fácil embellecer sus márgenes y regar considerables extensiones de terreno, que no es aventurado estimar en más de 2.000 hectáreas. Mas para ello, lo primero que hace falta es crear un Manzanares de verdad, merced á la eficacia del embalse.

Volviendo á nuestro proyecto decíamos que en el sitio designado en el plano general por la letra A, se construirá el embalse consabido. Desde el embalse arrancará el canal de derivación de siete kilómetros y medio de longitud que verterá en el río en el sitio B. La caída del canal al río en B, es de unos cien metros, y como el caudal constante será de tres mil litros por segundo, la energía aprovechada en dicho salto será de tres mil caballos permanentes.

Poco más abajo de B, y siguiendo el curso del río en el lugar C, se elevará una nueva presa para volver á recoger el agua. Esta segunda presa será ya de dimensiones reducidas, pues como el río, merced al embalse, llega á ella completamente regularizado, dicho se está, que esta segunda muralla basta que tenga las dimensiones suficientes para que las aguas tomen un nuevo canal de que pasamos á ocuparnos.

Este segundo canal que arrancará de C, conducirá el agua hasta el gran depósito D, enclavado en las alturas

de Chamartín á las puertas mismas de Madrid. Desde dicho depósito, parte del agua entrará en Madrid para abastecer los barrios altos á que no alcanza el nivel de los depósitos del Lozoya, para lo cual han aprobado las Cortes el oportuno proyecto de ley, y el sobrante volverá á verter en el Manzanares con un salto útil de cuatro mil caballos permanentes. Como por otra parte, la rasante del canal de Santillana viene más alta que la del Lozoya, en caso de urgente necesidad, podría echarse mano de tan poderoso auxiliar, vertiéndolo en el canal del Lozoya, para salvar necesidades de momento.

Disegnado el proyecto tocante al Manzanares, digamos dos palabras por lo que respecta á los ríos Guadarrama y Guadalix, que como se ve en el plano, corren á la izquierda y á la derecha del Manzanares.

En el río Guadarrama, se proyecta, desde el embalse E, un canal de derivación de 11 kilómetros y medio para

verter en el río, en el sitio F, con un salto útil de 235 metros. La energía de dicho salto es de 4.700 caballos. Como se observa en el plano, el canal irá bordeando la carretera del Escorial. Entraba en los proyectos volver á derivar en F las aguas, y utilizando los 35 kilómetros del canal de Gasco, construído en tiempos de Carlos III, hacerlas verter al Manzanares en J, punto contiguo á Puerta de Hierro. En el proyecto se pasa la divisoria en las Rozas, á cielo abierto, y se aprovechan en varios saltos los 120 metros de caída al Manzanares. Parte de este proyecto del Guadarrama ha habido necesidad de restringirlo, en vista de las muy numerosas, y á nuestro juicio, muy atendibles reclamaciones fundadas sobre derechos incontrovertibles tocante á riegos.

En el Guadalix hay proyectado otro canal de 27 kilómetros, para hacerlo verter en el del Manzanares, reforzando así el caudal de este con una dotación de 1.800 litros por segundo. A fuer de imparciales debemos advertir, que no vemos cosa llana y fácil hacer desistir al Estado de los propósitos que abriga, siquiera el plazo sea remoto, sobre la dotación del Guadalix respecto al canal del Lozoya.

Siendo el punto de más vital interés del proyecto el conocimiento exacto del caudal de agua que anualmente discurre por el Manzanares, los ingenieros Srea, Mendoza y Moreno prestaron desde un principio al problema toda la atención que merece, y aparte de los aforos previos que realizaron antes de emprender las obras, los completaron, una vez que pudieron utilizar el vertedero de la presa, con pacientes y laboriosos trabajos de investigación diaria, consignados en el gráfico que luego se reproduce.

Se han llevado con tal escrupulosidad dichos aforos, que cada día se hacían tres lecturas en la escala del vertedero: la primera á las nueve de la mañana, la segunda



Excmo. Sr. Marqués de Santillana.



Vista del Manzanares en el punto en que se proyecta derivar el canal de abastecimiento de Madrid.

á las doce del día, y la tercera á las seis de la tarde. El promedio de las tres lecturas, era la correspondiente al día. Sumando las lecturas diarias durante un año, y dividiendo por trescientas sesenta y cinco, dicho se está que se obtiene el gasto medio.

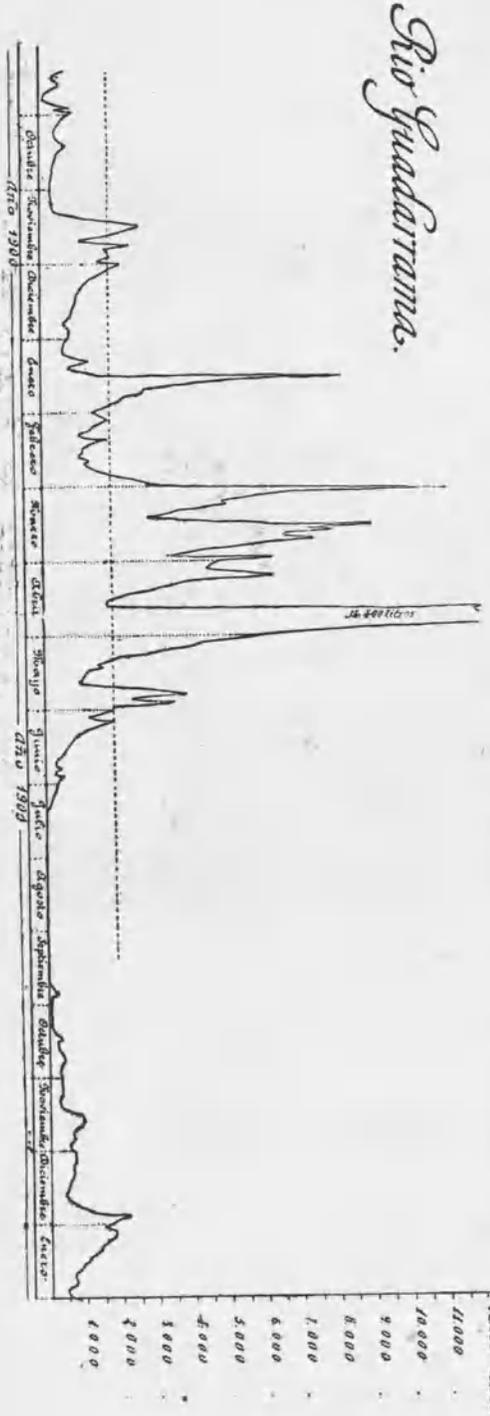
La necesidad imprescindible de reducir el dibujo del gráfico de aforos, que publicamos en la página siguiente, para adaptarlo al tamaño de nuestras columnas, produce cierta indecisión del perfil. Por tal motivo, hemos creído conveniente detallar en el cuadro adjunto, como muestra de los estados totales de aforos, los realizados durante el mes de Julio de 1899 y Febrero de 1900.

DÍAS	Julio (1899)	Febrero (1900)	DÍAS	Julio (1899)	Febrero (1900)
1.....	198	3.075	17.....	35	8.186
2.....	198	2.721	18.....	17	8.000
3.....	198	2.721	19.....	17	7.65
4.....	198	21.310	20.....	17	7.618
5.....	198	7.881	21.....	17	7.711
6.....	111	6.930	22.....	16	7.728
7.....	143	5.707	23.....	16	7.831
8.....	143	7.911	24.....	16	7.881
9.....	143	7.663	25.....	12	12.151
10.....	92	6.435	26.....	16	12.111
11.....	92	50.175	27.....	15	9.112
12.....	92	74.260	28.....	16	8.001
13.....	92	56.592	29.....	20	
14.....	46	25.566	30.....	20	
15.....	46	12.664	31.....	20	
16.....	46	10.925			

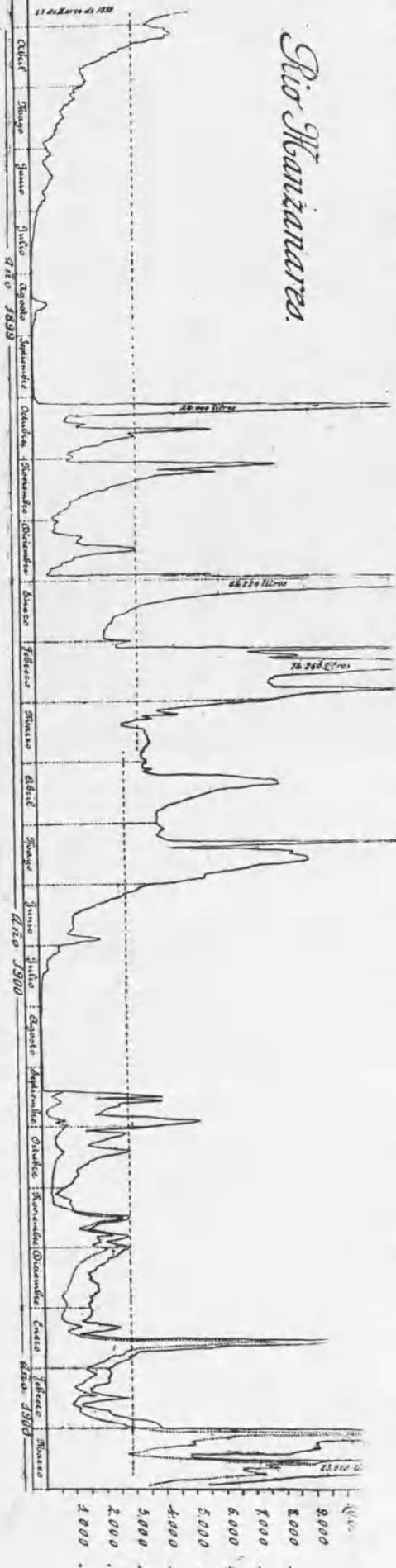
De propósito hemos elegido los aforos de semejantes meses, á fin de que los lectores juzguen por sí mismos de la tremenda diferencia de agua en las diversas épocas. Mientras hay días, cual el 25 de Julio de 1899, en que el Manzanares sólo llevaba 12 litros de agua, el 12 de Febrero, durante una enorme avenida, lleva 74.260, es decir, seis mil veces más agua que en Julio.

Los datos apuntados esclarecen totalmente las dudas que pudieran abrigar los más escépticos respecto á la potencia hidráulica del Manzanares. El 10 de Febrero de 1899 se inicia una gran crecida. La avenida dura los cuatro días subsiguientes. El primer día, ó sea el 11, lleva el Manzanares 50 metros cúbicos; el segundo día, 74; el tercero, 56, y el cuarto, 25. En esos cuatro días discurrieron, pues, por el Manzanares muy cerca de veinte millones de metros cúbicos. O dicho de otro modo: almacenado en un embalse el caudal de esa avenida, hubiera bastado por sí solo para asegurar, en setenta días de verano, un caudal medio de 3.000 litros por segundo.

Con lo dicho basta para formar cabal idea del colosal proyecto de Santillana. Limitado á más reducidas proporciones, hallaríamos más factible su pronta realización. Lo que hasta hoy ha hecho ya Santillana es prenda segura



Rio Guadarrama.



Rio Manzanares.

**GRAFIOS**  
representativos de aforos obtenidos en  
los rios Manzanares y Guadarrama.

Desde el 23 de Mayo de 1898

de que aientos y acierto no faltan al esclarecido prócer. Mas en empresa de tal monta no bastan los aientos más esforzados. Se necesita además muchísimo dinero. Mucho habrá invertido ya en las obras ejecutadas el primogénito de las casas del Infantado y Valmediano, mas nos permitimos dudar, y no lo tome á mal Santillana, que entre capitalistas españoles logre reunir la enorme suma de veinte millones de pesetas, que seguramente ha de requerir el desenvolvimiento de su plan. Mucho celebraríamos equivocarnos.

No concluiremos este rápido bosquejo sin tributar nuestros más sinceros plácemes á los jóvenes y ya reputadísimos ingenieros D. Antonio González Echarte, D. Carlos Mendoza y D. Alfredo Moreno, que han desplegado sus talentos en la dirección y ejecución de las obras. Igualmente hacemos extensiva nuestra felicitación á D. Felipe Mora, que desde hace muchos años viene acariciando las ideas que hoy ve convertidas en realidad.

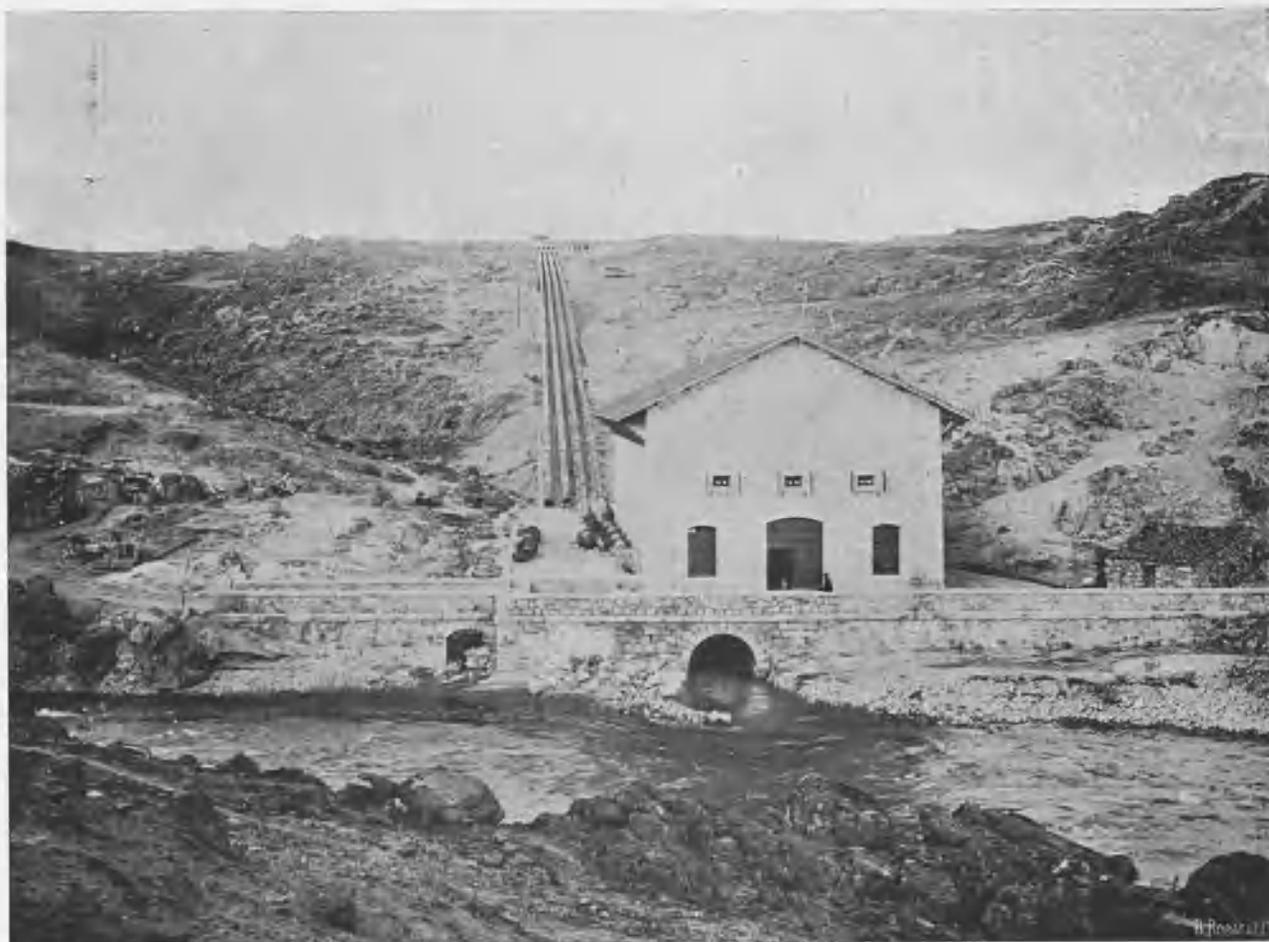
Una vez enunciados, en sus líneas generales, los amplios proyectos que respecto al Manzanares, Guadarrama y Guadalix, abriga el Marqués de Santillana, pasemos á describir, con cierto detalle, las obras ya construidas, y á punto de inaugurarse.

Ha empezado por construir un salto de 2.000 caballos en el Manzanares, junto á Colmenar, caballos que vienen casi en su totalidad á Madrid, salvo una fracción de energía que se destina á alumbrar á Colmenar y á elevar las aguas de aquella villa.

Las obras hasta hoy efectuadas, al decir de cuantos técnicos las han visitado, pueden pasar como un modelo en su género.

Hacemos fervientes votos porque el resto de los proyectos alcance cumplida realización.





Vista general del salto y casa de máquinas.

## Obras construídas

El objeto inmediato de las obras construídas, ha sido el aprovechamiento de un salto de aguas de 2.000 caballos de fuerza para ser transportados á Madrid bajo la forma de energía eléctrica según se expone á continuación. La distancia de este transporte es de 28 kilómetros que median entre la Central productora en el río y la capital de España.

En líneas generales las obras se componen de una presa de derivación, con la que se obtiene al mismo tiempo un embalse aprovechable de 450.000 metros cúbicos; un canal de 7.596 metros de desarrollo y una tubería que salvando los 95,48 metros de desnivel que existen entre el extremo del canal y el río conduce el agua en presión á las turbinas.

El caudal que conduce dicho canal es de 2.000 litros por segundo, los que volverán á derivarse después del salto para ser conducidos á Madrid, si se realizan los proyectos que hemos enunciado anteriormente.

Encontrándose la villa de Colmenar Viejo distante tan sólo 3 kilómetros del salto, se ha derivado del canal industrial, por medio de tubería, un caudal de 10 litros por segundo destinado al abastecimiento de dicha población. La altura á que se encuentra emplazada ésta exige la *elevación* previa de las aguas para alcanzar la cota del depósito de distribución que domina por completo el pueblo. La fuerza necesaria al efecto se toma de la misma Central productora de energía.

Una vez hechas estas ligeras indicaciones que se completan con la simple inspección del plano general pasaremos á hacer una descripción más detallada comenzando por las obras hidráulicas.

### PRIMERA PARTE

#### OBRAS HIDRAULICAS

##### Presa.

*Forma y disposición general.*—Se halla emplazada en un estrechamiento que el río Manzanares presenta, 100 metros aguas abajo de su confluencia con el arroyo de Chozas.

La naturaleza del terreno, granítico en toda la zona, ofrece condiciones que garantizan, no sólo una base inmejorable de cimentación para la obra, sino también una impermeabilidad absoluta en el cuenco ó vaso de recepción de las aguas del embalse.

La obra afecta en planta la forma de un arco de círculo de 200 metros de radio y 145 de desarrollo. Su altura es de 10 metros, desde el lecho del río hasta la cresta del vertedero lateral, establecido en la margen derecha; su espesor en la base es de siete metros y tres en la coronación. Según se ve en la sección transversal y perfil longitudinal de aquélla, sobre el cuerpo de la obra, del lado de aguas arriba se levanta un parapeto de 1<sup>m</sup>,50 de espesor en la base y dos de altura máxima cuyo objeto es impedir que en tiempo ordinario vierta el agua por la coronación. Aun cuando esto no sería un inconveniente grave en el caso de que se trata, sin embargo, se ha procurado evitar no tan sólo por hacer posible el paso de una á otra margen del río sobre la presa, sino también, por huir de las vibraciones producidas por el golpe de caída del agua, vibraciones que, sin



Presa en construcción al terminar la primera campaña.

Llegar á comprometer la estabilidad de la construcción, podrían ejercer alguna influencia retrasando el completo fraguado de los morteros ó alterando á la larga su cohesión.

El perfil transversal de la presa, según puede verse en el dibujo adjunto, está formado por una vertical en el paramento de aguas arriba y un arco de parábola en el de aguas abajo.—Esta parábola, teniendo su vértice sobre el plano de la coronación á 3 metros del paramento de aguas arriba viene á ser tangente aproximadamente á la recta que forma la hipotenusa del triángulo de Castigliani.

El cálculo de este perfil lo han hecho los Ingenieros constructores teniendo en cuenta la sencilla regla de este eminente hidráulico y comprobando la estabilidad con la investigación de la curva de presiones, á la que se ha impuesto la condición, tanto para una carga de agua de 11 metros como para embalse vacío, de pasar siempre dentro del núcleo central, sin que las presiones máximas excedan nunca de los límites corrientes que se imponen á las mamposterías.

Con muy buen acuerdo y á fin de no aumentar inútilmente el coste de la obra, no han admitido en el cálculo la posibilidad de formación de grietas que originen subpresiones, porque en el presente caso tal posibilidad no era admisible prácticamente dadas las condiciones en que la obra se ha llevado á feliz término. Se ha ejecutado toda ella por administración y mientras han durado los trabajos, han estado al pie de obra uno de los Ingenieros directores, un ayudante y un sobrestante, consiguiéndose de este modo sostener una inspección y vigilancia especiales tanto en la elaboración de los morteros como en la ejecución de las fábricas y trabazón de los mampuestos. Si á esto se añade la compacidad, naturaleza y firmeza de la roca sobre que descansa la obra, se comprenderá fácilmente que no son de temer asientos que provengan de su cimientó ni del cuerpo de la misma.

La capacidad del embalse es de 520.000 metros cúbicos, de los cuales son tan sólo aprovechables á los fines de que se trata 450.000 por estar emplazada la toma ó arranque del canal á 4<sup>m</sup> 45 sobre el lecho del río.

Esta toma se lleva á cabo por intermedio de dos compuertas de palastro, maniobradas con el auxilio de aparatos sencillos de volante y husillo alojados en una cámara ó torreón que al propio tiempo que sirve de contrafuerte al estribo izquierdo de la presa, señala el arranque del canal que penetra por debajo de aquél, y á través del cuerpo de ésta.

Los dibujos y fotografías que acompañan completarán la descripción que vamos haciendo.

*Desagües.*—Dos son los desagües establecidos.

Uno de ellos tiene por objeto desocupar el embalse en algunos casos, y otro el de respetar el régimen del río, dando paso á las aguas sobrantes, en caso de avenidas.

Para lo primero se ha dejado á través del cuerpo de la presa, y á metro y medio sobre su base, una pequeña galería de 0<sup>m</sup>,80  $\times$  1<sup>m</sup>,30, cubierta con una compuerta de una hoja de fundición reforzada con nervios radiales y que se manobra desde la parte superior del parapeto por medio también de un aparato de volante y busillo, calculado para que baste el esfuerzo de un hombre cuando el embalse se encuentre lleno. El soporte del aparato se apoya sobre un gran sillar engatillado á los de paramento y macizo de la obra.

En la margen derecha del río, á la altura de la coronación de la presa y siguiendo una curva de nivel se ha practicado un canal de seis metros de anchura media, á cuyo fondo caen las aguas del vertedero, constituido únicamente por un sencillo revestimiento del lado izquierdo de este mismo canal, enrasado dicho revestimiento á la altura antes citada.

Con esta disposición se ha conseguido una longitud de vertedero, de 45 metros, sin necesidad de internarse en la ladera con un costosísimo desmonte, como hubiese sido preciso, si dicho vertedero se hubiese colocado en prolongación de la presa.

Por otra parte, si la experiencia acreditase la necesidad de aumentar todavía su longitud, nada sería más sencillo y menos costoso.

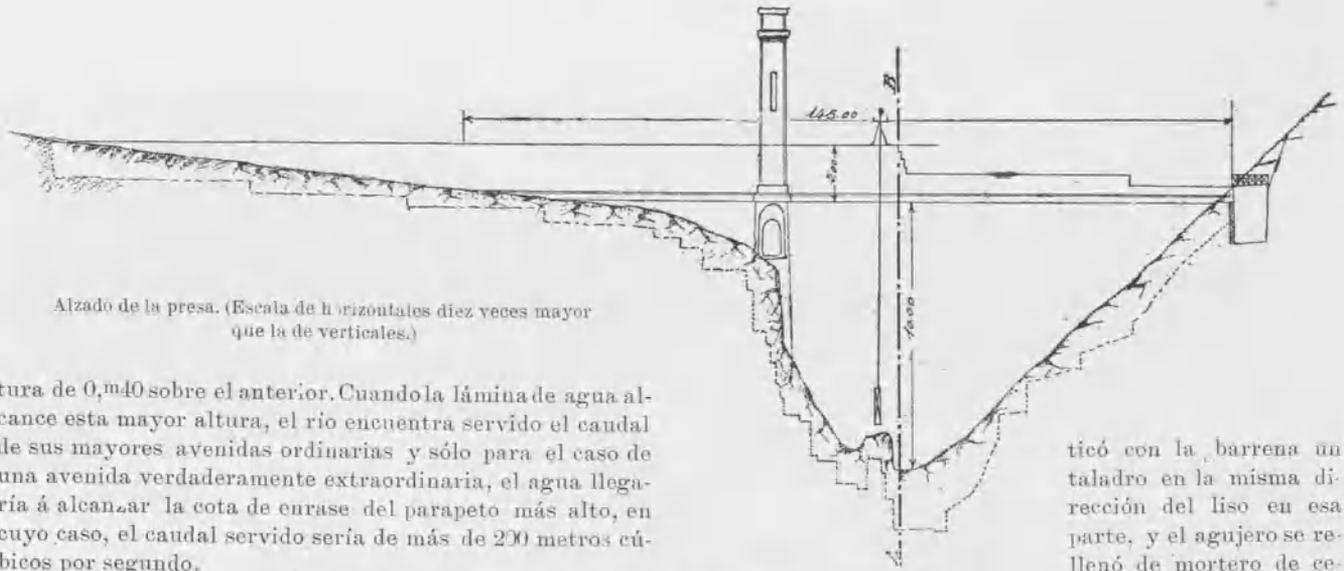
Para la comunicación ó paso entre una y otra margen del río, se ha levantado una pasarela que salva la anchura de dicho canal.

La pendiente de este es de 0<sup>m</sup>,02, pudiendo servir un caudal de 51 metros cúbicos por segundo, superior al de las avenidas ordinarias del río.

En el caso de mayores crecidas, el agua, alcanzando una mayor altura, empieza á desbordar por el primer trozo del parapeto de la presa, cuya altura sobre el vertedero lateral es de 0<sup>m</sup>,60 únicamente.

La longitud de este nuevo vertedero que principia á funcionar, es de 15 metros.

El trozo siguiente de parapeto se ha enrasado á una al-



tura de 0,40 sobre el anterior. Cuando la lámina de agua alcance esta mayor altura, el río encuentra servido el caudal de sus mayores avenidas ordinarias y sólo para el caso de una avenida verdaderamente extraordinaria, el agua llegaría á alcanzar la cota de enrase del parapeto más alto, en cuyo caso, el caudal servido sería de más de 200 metros cúbicos por segundo.

**Cimentación de la obra.**—Descrita su forma y disposición general, daremos alguna noticia del sistema adoptado por los ingenieros para su construcción.

Como ya hemos dicho el firme sobre que se asienta la presa es roca granítica. No obstante, las escavaciones practicadas para la cimentación, no dejaron de tener importancia. Así puede verse, en efecto, en el perfil longitudinal de la obra, en el que se hallan indicadas.

Donde han alcanzado una profundidad mayor, ha sido en el lecho del río, llegando á 2<sup>m</sup>,30 como máximo. Obedece esto al criterio sustentado de arraigar la fábrica 0<sup>m</sup>,50 por lo menos en roca sana y compacta. Separada la capa de acarreo que cubría el fondo, y cuyo espesor no excedía de 0<sup>m</sup>,40, dióse comienzo á practicar en la roca la caja para el cimiento. Esta escavación se habría suspendido bien pronto á no presentarse una falla en el eje del cauce y en dirección paralela al mismo. Esta falla, de unos cinco centímetros de anchura, rellena de una pasta deleznable, no parecía conveniente abandonarla y se continuó escavando. A medida que la profundidad del cimiento era mayor, el ancho de la falla decrecía, indicando claramente que bien pronto el granito de ambas márgenes se juntaría por bajo de aquélla. Así sucedió en efecto á los 2<sup>m</sup>,30 de profundidad, y como quiera que en una pequeña zona aún parecía señalarse, se prac-

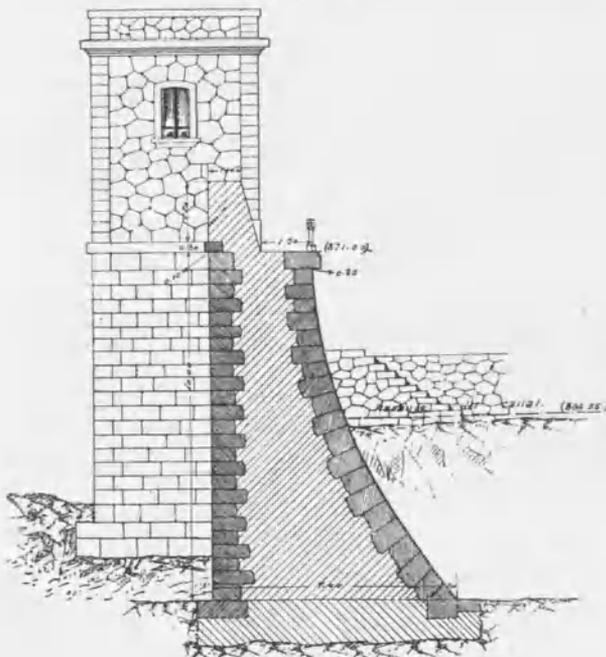
ticó con la barrena un taladro en la misma dirección del liso en esa parte, y el agujero se relleno de mortero de ce-

mento bien amasado.

Antes de principiar el relleno del cimiento, se procedió á limpiar este con golpes de agua echada á cubos, que después se extraía con la bomba, operación que permitía reconocer y comprobar con toda escrupulosidad que la roca de asiento era perfectamente solidaria y compacta.

La fábrica del cimiento se compone de una primera capa

*Corte y proyección.*

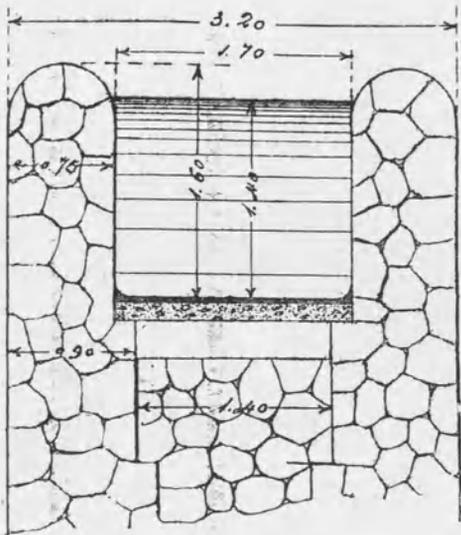


Pres y torreón de compuertas de toma.

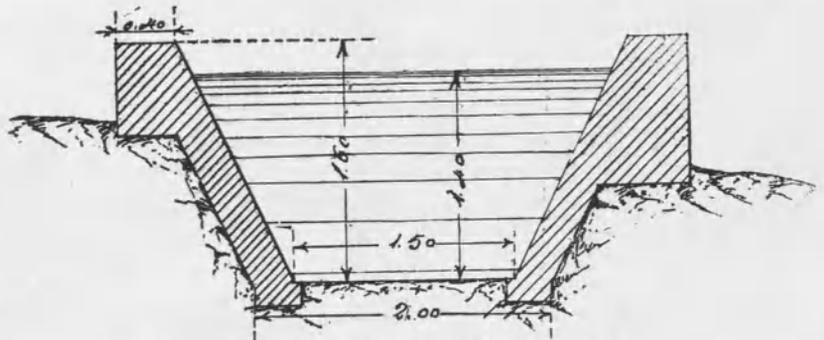
de hormigón hidráulico de cemento rápido, con objeto de enrasar las desigualdades de la roca, y sobre este enrase se asentó directamente la mampostería, que después se enlazó con la del cuerpo de la obra.

El cemento empleado ha sido el de Zumaya, componiéndose el hormigón con una parte de aquél por dos de arena del río, y cuatro de piedra machacada. Esta procedía de un banco inmediato de cuarcita que por lo muy cuarteado que

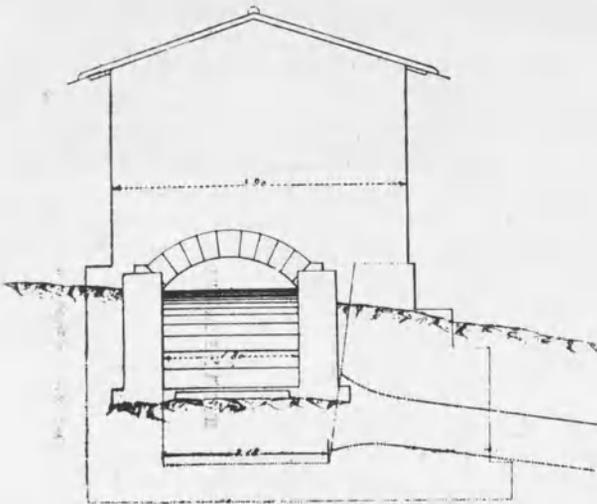




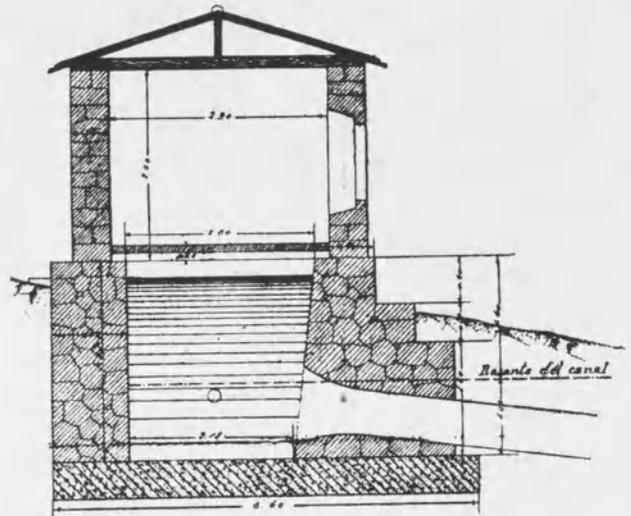
Sección del canal.



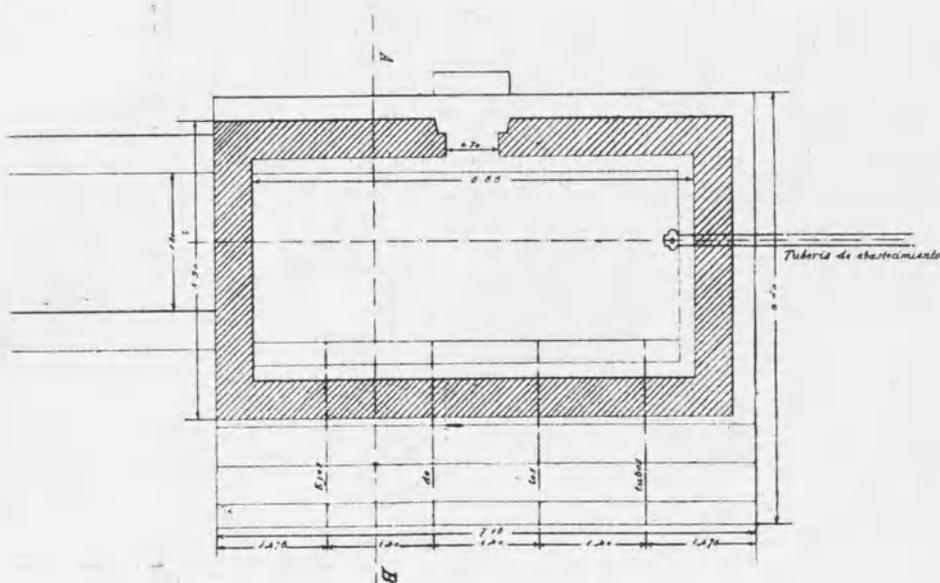
Sección del canal.



Partidor.—Alzado.



Partidor.—Sección trasversal.



Partidor.—Planta.



**Acueducto de las Dehesas (en construcción).**



**Acueducto de las Dehesas.**

desocupar el canal entero, lo que sería un grave inconveniente, especialmente en estiage por el volumen de agua perdido que representaría.

La fórmula empleada por los autores del proyecto para calcular la sección del canal ha sido la siguiente, debida á Darey.

$$\sqrt{\frac{RI}{U^2}} = 0,0115 \left( 1 + \gamma \frac{1}{\sqrt{R}} \right)$$

en la cual

*R*, radio medio de la sección.

*I*, pendiente del canal.

*U*, velocidad del agua en el mismo.

Los valores que señala para  $\gamma$ , según la naturaleza de las paredes, son los siguientes:

$\gamma = 0,06$ , paredes enlucidas.

$\gamma = 0,46$ , *id.* de mampostería.

$\gamma = 1,30$ , *id.* tierra.

$\gamma = 1,75$ , *id.* muy desiguales.

*Obras de fábrica más importantes.*—Entre las obras de fábrica más importantes se pueden citar los acueductos del Sacedón y las Dehesas, del último de los cuales acompañamos fotografías.

El primero de ellos, emplazado á la terminación del primer kilómetro, salva el arroyo del mismo nombre, con tres arcos centrales de 8 metros de luz y otros dos laterales de cuatro, separados por pilas estribos. La longitud de este acueducto es de 86 metros y la altura de rasante de seis metros.

El acueducto de las Dehesas tiene una longitud de 200 metros próximamente, y una altura de 18<sup>m</sup>,37 desde la solera del canal hasta el fondo del barranco.

El aspecto de esta obra por su simetría y ligereza, es sumamente agradable. La distribución de luces se halla perfectamente estudiada, componiéndose de cinco arcos centrales de ocho metros y cuatro laterales de cuatro, separados por pilas estribos.

Sobre la imposta general, en el centro de la obra, y en uno de los muros del canal, se destaca una piedra tallada con las armas del Infantado y de Valmediano.

El espesor de las pilas, en los arranques, es de 1<sup>m</sup>,75;

el de los arcos en la clave 0<sup>m</sup>,70 y 1<sup>m</sup>,40 en los arranques.

Las pilas presentan un talud al exterior de 0<sup>m</sup>,04 y de 0<sup>m</sup>,02 al interior de los arcos.

También á los paramentos de mampostería de los timpanos se les ha dado un pequeño talud de 0,005, con lo que se ha corregido el defecto que á la vista ofrecen otros importantes acueductos, en los que parece desplomarse el cuerpo superior de los arcos, á consecuencia del talud dado á las pilas solamente. El coste de ejecución de estos dos acueductos puede verse á continuación.

*Acueducto del Sacedón:*

	Ptas.	Cént.
Cemento de Zumaya 9,5 toneladas á 65 ptas.	646	75
Cal grasa 41,22 metros cúbicos en pasta á 16,55 pesetas.....	682	19
Cimbra s.....	952	47
Jornales invertidos { en las canteras.....	6.453	71
{ en escavaciones.....	1.277	14
{ en la construcción.....	9.591	77
<b>Total.....</b>	<b>19.604</b>	<b>03</b>

*Acueducto de las Dehesas: (Por contrata.)*

	Ptas.	Cént.
1.742,95 <sup>ms</sup> de mampostería ordinaria á 9,25 pesetas.....	16.122	28
393,21 " de <i>id.</i> en seco á 3,75.....	1.474	53
113,30 " de <i>id.</i> concertada en bóveda á 27,75.	3.144	07
161,13 " de sillería labrada á 70.....	11.279	10
128,57 " de <i>id.</i> aberrugada á 60.....	7.714	14
43,40 " de hormigón á 22,50.....	976	50
62,06 " de mampostería con mortero árido á 4.....	248	24
520,41 " de <i>id.</i> semi-hidráulica en el cajero del canal á 11,90.....	6.192	88
1.169,04 metros cuadrados de enlucido á 2,75.	3.214	86
Una piedra de armas labrada.....	500	00
<b>Total.....</b>	<b>50.866</b>	<b>60</b>

**Depósito partidor.**

Los dibujos que anteceden dan una idea exacta del depósito partidor. Poco antes de la llegada del agua á dicho depósito pasa á través de una rejilla con objeto de separar los cuerpos extraños que pudieran entorpecer el buen funcionamiento de las turbinas.

**Tubería.**

Del depósito mencionado parten las cuatro filas de tubos, de 0<sup>m</sup>,65 de diámetro que conducen el agua á aquéllas. El espesor de estos tubos es variable desde 17 á 24 milímetros estando hechos de fundición con juntas de enchufe y cordón. Esta tubería se proyectó de palastro para dos filas de 0<sup>m</sup>,9 de diámetro, perdas las notables ventajas en precio que en el suministro de la tubería de fundición proporcionó una casa constructora, se optó por esta solución á primera vista menos ventajosa. Los tubos han sido ensayados en fábrica á 15, 20 y 30 atmósferas de presión según el espesor. La longitud de la tubería es de 703 metros,



Vista general de la presa (aguas abajo).



**Depósito partidor y tubería del salto.**

habiéndose colocado tubos de aire cada 200 metros para facilitar la salida de éste durante la carga.

A fin de colocar la tubería en buenas condiciones ha sido necesario preparar una costosa explanación de 4<sup>m</sup>,20 de anchura por toda la longitud del salto, construyéndose verdaderos muros de mampostería para salvar las depresiones.

Además, cada tubo va colocado sobre dos macizos de fábrica de un metro de longitud. El desnivel que resulta entre el nivel de agua en el canal y el del río en estiaje es de 95<sup>m</sup>,48. El piso de la casa de máquinas se encuentra colocado 3<sup>m</sup>,60 por encima de este nivel quedando suficientemente protegida del alcance de las crecidas más fuertes.

### **Casa de máquinas.**

Es un amplio edificio de construcción robusta y sencilla, en el que se ha renunciado á toda ornamentación por lo apartado de su emplazamiento.

Se ha levantado en una explanada que ha sido forzoso crear, mediante un costísimo desmonte en granito. Esta explanada se halla protegida de los ataques del río por un elegante muro de recinto, á través del cual se ha dejado paso á un arroyuelo, que se incorpora al río en este punto.

Consta el edificio, por ahora, de una sola nave rectangular de 13 metros de anchura por 28 de longitud.

Para transportar la maquinaria hasta este punto, ha sido preciso habilitar un camino de acceso muy costoso por las asperezas y naturaleza del terreno, y que, partiendo de la carretera más próxima, conduce al edificio,



**Bajada de la tubería.**

con un recorrido de más de tres kilómetros. Este camino cruza por encima de la tubería con una obra especial construida al efecto.

Dada la considerable distancia entre la Central y la presa, se han enlazado telefónicamente para mayor facilidad en el servicio.

Más adelante, al describir la instalación eléctrica, nos ocuparemos con todo detalle de la disposición interior de esta hermosa Central, que llama la atención por el buen criterio que ha dominado al proyectarla, y la excelente disposición de sus detalles.

### **Conducción y elevación de aguas á Colmenar Viejo.**

Del depósito partidor, antes descrito, en que termina el canal industrial, arranca también una pequeña tubería de 0<sup>m</sup>,15 de diámetro, que conduce al inmediato pueblo de Colmenar Viejo, la dotación de 10 litros de agua por segundo.

Esta tubería, de una longitud de 2.350 metros próximamente, llega á las proximidades del pueblo, terminando en la falda del cerro de San Andrés, donde vierte á un doble depósito de 720 metros cúbicos de capacidad, destinado á almacenar toda el agua que conduce dicha tubería durante veinte horas, con el objeto de poder hacer la elevación en las cuatro horas restantes de 864 metros cúbicos al depósito de distribución.

El desnivel que existe entre uno y otro extremo de la tubería de conducción, es de 9<sup>m</sup>,25. En el origen de la misma se ha colocado por la Administración un módulo, á fin de asegurar en todo tiempo que la cantidad de agua que se



Lavadero de Colmenar Viejo.

destina á este objeto no excede de los 10 litros por segundo concedidos.

La altura á que se hace preciso elevar el agua es de 60 metros. La tubería que enlaza el depósito inferior con el superior es de 30 centímetros de diámetro y una longitud de 700 metros, y está destinada á servir un caudal de 60 litros por segundo durante cuatro horas cada día.

El punto en que se encuentra el depósito de distribución, que domina todo el pueblo, está á 916 metros sobre el nivel del mar, y se designa en la localidad con el nombre de *alto de San Andrés*.

La maquinaria con que se hace el servicio de elevación se describirá más adelante. El mismo motor eléctrico trabajará durante las 20 horas restantes en una fábrica de harinas que Santillana instala igualmente por su cuenta, en local inmediato al emplazamiento de la bomba.

Además de las obras anteriormente descritas merecen ser enumeradas las que también se han ejecutado en virtud del contrato celebrado con el Ayuntamiento de Colmenar y que consisten en el depósito de distribución de que ya se ha hecho mención, una fuente pública, un lavadero y un abrevadero para el ganado. Según el mismo contrato, Santillana prestará durante 99 años el servicio de conducción y elevación de aguas de que es concesionario, pasando á propiedad del pueblo el depósito, fuente, lavadero y abrevadero.

Esta villa, de 5.000 habitantes, se veía anteriormente tan privada de aguas durante el verano, que se hacía preciso extraerla de pozos á gran distancia del pueblo, teniendo que acudir para el lavado de ropas al río Manzanares, distante 4 kilómetros de la población. Al verse hoy surtida con una dotación tan importante, pues llega á 173 litros por habitante y por día, é iluminada con luz eléctrica, parece por completo transformada y es de esperar que en plazo no muy lejano si consigue un medio más cómodo y rápido de comunicación con la corte, se convierta en una agradable estancia de verano para los madrileños.

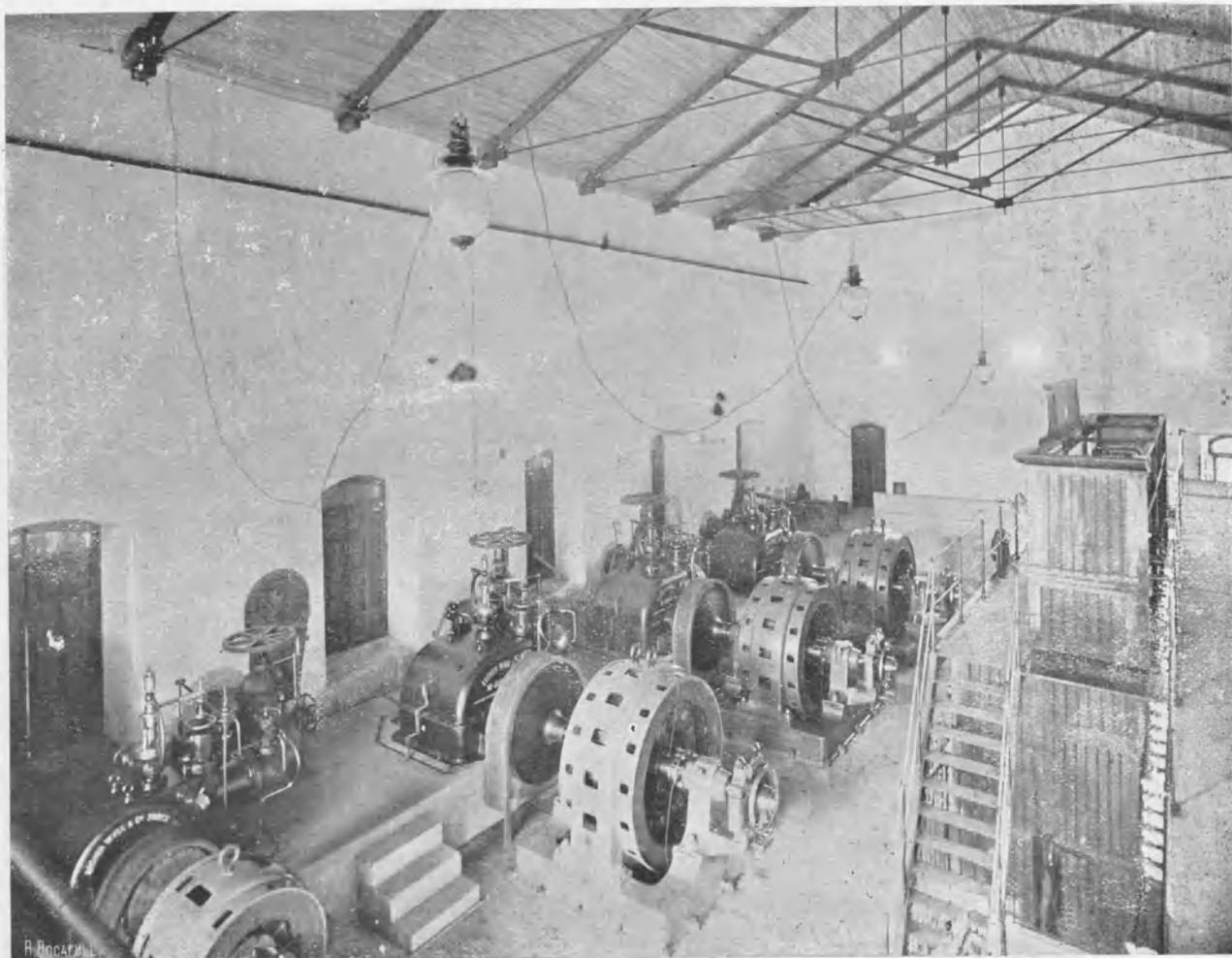
El depósito de distribución ha sido construído con cemento armado, sistema Monier, por la casa Durán y C.<sup>a</sup> de Barcelona.

El lavadero, del cual se acompaña una fotografía, es un bonito edificio, trazado por el joven y distinguido arquitecto D. Manuel Mendoza.

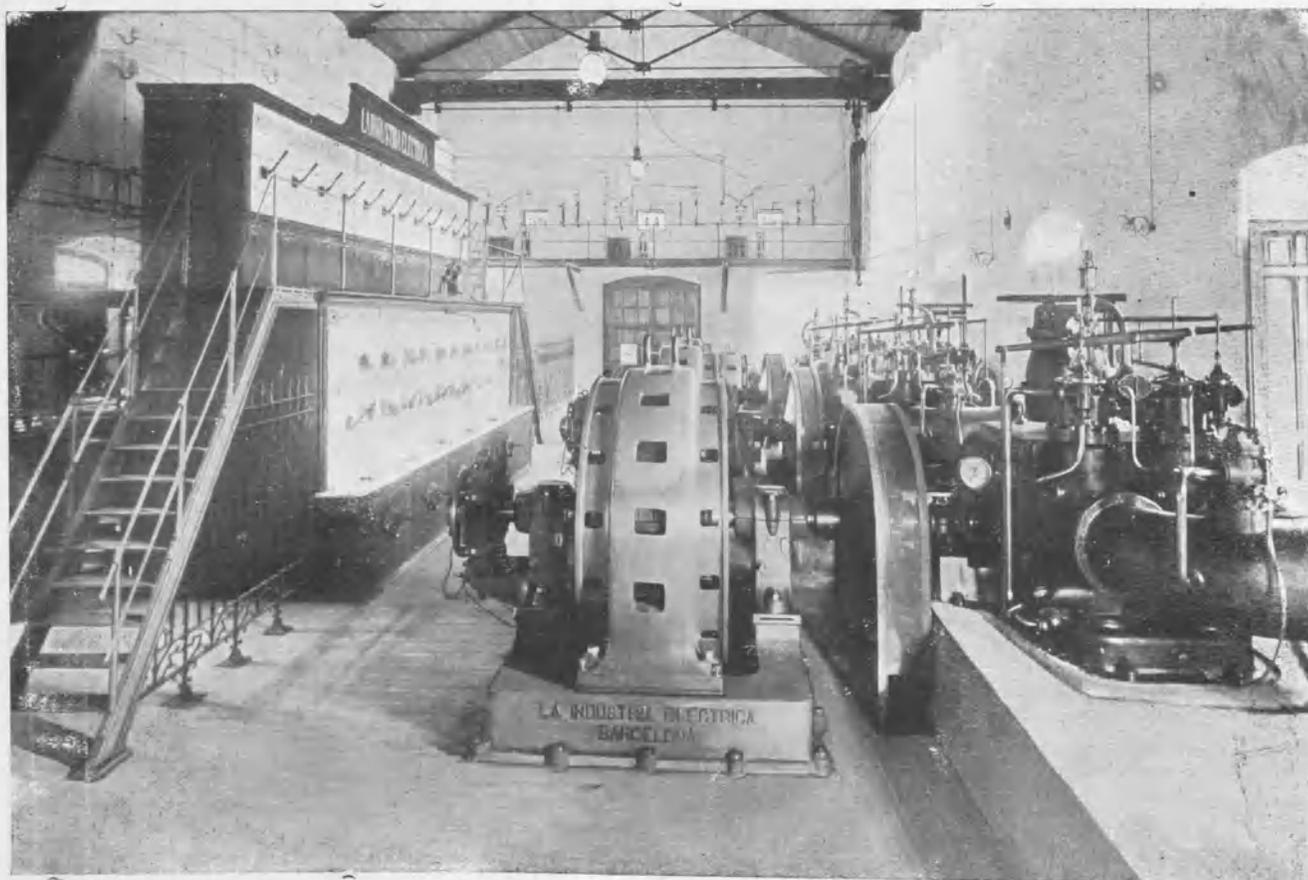
Consta aquél de 88 pilas independientes, distribuídas con amplitud en una vasta sala bien iluminada y cerrada con una elegante armadura metálica que sostiene directamente la cubierta de teja plana.

Recientemente ha sido hecha con toda solemnidad la entrega al Ayuntamiento de esta parte de las obras, previo informe de reconocimiento practicado por dos ingenieros nombrado uno por cada parte.





Vista general del interior de la casa de máquinas.



Vista general del cuadro de distribución y galería de pararrayos.

## SEGUNDA PARTE

## Instalación eléctrica

La instalación eléctrica es sin duda la parte más interesante de las obras que se describen, debido á la importancia de la potencia transmitida, á emplearse en su transporte la tensión de 15.000 voltios, que es de las mayores empleadas hasta ahora en Europa, y á tener por objeto principal suministrar fuerza á Madrid; todo esto, unido á que ha sido dirigida por un ingeniero español, siendo también española la casa constructora que ha proporcionado la mayor parte del material eléctrico, ha sido causa de que, juzgando muy interesante esta instalación, no nos limitemos á una simple descripción, sino que primeramente haremos un estudio comparativo con las instalaciones análogas existentes para deducir, con arreglo á las tendencias actuales de los electricistas, las ventajas é inconvenientes que en este caso presenta cada uno de los elementos esenciales del transporte de Colmenar.

Siguiendo, pues, este orden de ideas se dividirá en dos partes la descripción de esta instalación; una que comprenderá el *transporte de energía* á Colmenar Viejo y Madrid y otra su *distribución en Madrid*. Antes de entrar á detallar cada una de estas partes, las describiremos á grandes rasgos, señalando sus elementos esenciales para pasar enseguida á deducir las ventajas é inconvenientes que la elección de estos elementos esenciales originan en la instalación que se estudia.

## Transporte de energía eléctrica

## Elementos esenciales del transporte.

De la descripción que se acaba de hacer de las obras hidráulicas se deduce que la dotación del canal es de 2 m<sup>3</sup> por segundo, y como el salto neto varía entre 91,71 y 95,91, la potencia que resulta para su valor medio 93,8es de 2.500 H.P.

El rendimiento total de la Central garantizado por la casa constructora «La Industria Eléctrica de Barcelona» es de 72 por 100 como mínimo (el rendimiento obtenido en las pruebas es algo mayor); en el origen de la línea, se tendrá, pues, una potencia de 1.800 caballos ó sea 1.325 Kw.

Una pequeña parte de esta potencia se destina al alumbrado y usos industriales de Colmenar Viejo y el resto se transporta á Madrid, distante 28 kilómetros, á través de los montes del Pardo.

La Central comprende hoy día un grupo hidroeléctrico de 250 caballos efectivos y tres de 500 H. P. Cada grupo consta de una turbina acoplada directamente á un alternador trifásico enrollado en estrella, que engendra corriente trifásica á 800 voltios compuestos y frecuencia de 50 períodos; por medio de transformadores se eleva esta tensión á 15.000 entre dos hilos de línea, para su transporte á Madrid y Colmenar.

Está es en esencia la disposición adoptada cuyos tres puntos capitales son pues:

Sistema adoptado de corrientes trifásicas en estrella,

Tensión de 15.000 entre dos hilos de línea, y

Frecuencia de 50 períodos por segundo.

## Consideraciones sobre los elementos esenciales del transporte.

Para poder juzgar del mayor ó menor acierto con que han sido fijados estos puntos capitales, es conveniente conocer los grandes progresos que en muy pocos años ha sufrido la industria de las transmisiones de energía, las distintas opiniones que en cada época han estado en boga, la rapidez con que unas disposiciones han sustituido á otras; en una palabra, la historia de los transportes de fuerza; de ahí que sea oportuno hacer un ligero resumen, sobre todo, recordando que se trató de describir el primer transporte de fuerza, á la capital de España.

*Historia de los transportes de fuerza.*—Se debe á M. Hippolyte Fontaine la primera idea de la transmisión eléctrica de la energía. La experiencia memorable que realizó fué hecha en la Exposición de Viena de 1873, y consistió en accionar una máquina Gramme por otra situada á 1.100 metros, haciendo la primera el papel de motor y la segunda el de generador.

Pasaron algunos años sin que se hiciesen experiencias importantes de esta nueva aplicación de la electricidad, hasta que en 1882 realizó Marcel Deprez el primer ensayo de transporte á gran distancia, entre Miesbach y Munich, distantes 55 kilómetros, empleando corriente continua á 2.400 voltios; el resultado no fué muy satisfactorio, pues obtuvo un rendimiento final de 32 por 100.

Las experiencias que en 1883 hicieron Hopkinson y Grills Adam y la facilidad extraordinaria con que las corrientes alternas alcanzan elevados voltajes y son transformadas, llamaron bien pronto la atención de los electricistas, que comprendieron las ventajas que esta clase de corriente podía proporcionar en los transportes de fuerza; á partir de estas experiencias empieza la lucha entre la corriente continua y la alterna, que se disputan su empleo en esta importante aplicación de la electricidad, lucha que ha durado hasta nuestros días y que ha sido sin duda por el apasionamiento de los partidarios de una y otra clase de corriente, la causa principal del extraordinario adelanto de la industria eléctrica durante los últimos veinte años.

Al principio la notable inferioridad de los motores de corriente alterna que entonces se construían, fué motivo suficiente para que no se aplicase este tipo de corriente á las transmisiones de energía. Al mismo tiempo M. Thury introducía importantes perfeccionamientos en el material de corriente continua, hasta que en 1889 realizó la notable transmisión de Isoverde á Ginebra, con resultados tan notables que ha quedado como modelo de este tipo de instalaciones. El triunfo de la corriente continua fué, pues, completo; es la época en la historia de la electricidad en que mayor desarrollo adquirió la construcción de todo género de máquinas de corriente continua. Buena prueba de ello es que algunos años después se construyeron los transportes de La Chaux-de-Fonds y de Socle de 3.200 caballos á 14.400 voltios, Brescia, Grand Eau á Aigle, Saint-Maurice á Lausanne á 22.300 voltios y tantos otros que pudieran citarse, y en España los de Rentevia, á 14 kilómetros de distancia con tres grupos de 65 amperios y 5.200 voltios má-

ximo y el de Linares á 30 kilómetros con dos grupos de 60 amperios y 3.500 voltios, todos ellos empleando corriente continua.

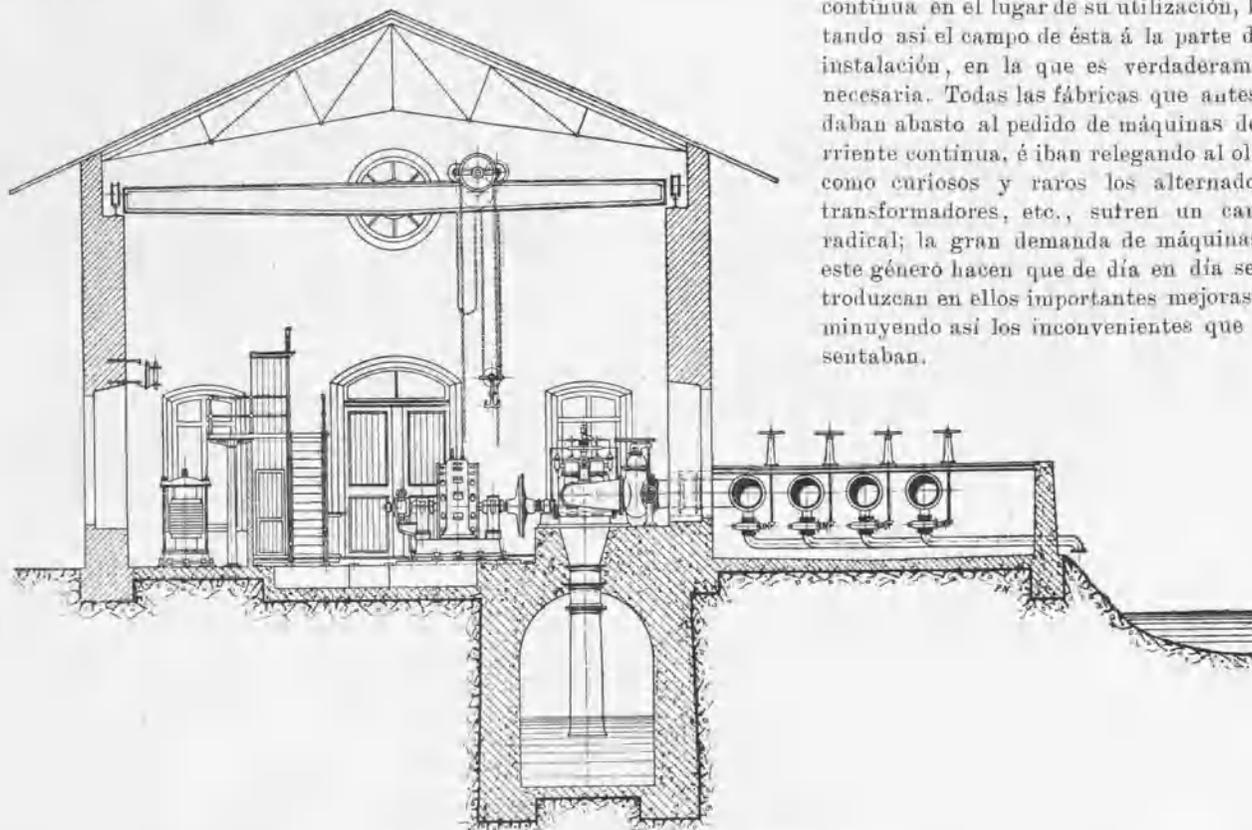
En este estado de cosas, se realizó en 1891 la primera aplicación importante de las corrientes polifásicas al transporte de fuerza de Lauffen á la Exposición de Francfort.

Las corrientes polifásicas aparecieron primero en 1881, como simple experiencia de Marcel Deprez, sin más importancia que una de tantas curiosidades de los gabinetes de Física; después en 1884 el profesor Ferraris realizó su clásica experiencia de obtener un campo móvil por medio de corrientes difásicas, dando así á los ingenieros el fundamento de los motores de campo rotatorio; este es el punto de partida de una serie de trabajos de Brown, Doliva Dobrowsky, Hatin Leblanc, Tesla, etc.; hasta que en 1891 se construyó con motivo de la Exposición de Francfort el

ro más barrera que la limitación de la tensión máxima industrial construye alternadores que dan directamente 5.000, 10.000 y hasta 15.000 voltios, y al observar que aún no es suficiente dicho voltaje para algunos aprovechamientos, y tratando siempre de estender su dominio, construye transformadores elevadores para alcanzar en el transporte tensiones de 30.000, 40.000 y hasta 50.000 voltios, y realizar ensayos industriales á 100.000 voltios.

El gran pedido de máquinas de corriente alterna crece de día en día, pues no sólo se emplean en los transportes de energía, que es una de las aplicaciones más importantes de la electricidad, sino que en aquellas otras en que actualmente se hace uso por lo general de la corriente continua, como en la tracción, empieza á desarrollarse el empleo directo de corrientes trifásicas, y cuando esto no es conveniente se recurre á los convertidores, conmutatrices, etc., que per-

miten transformar la corriente alterna en continua en el lugar de su utilización, limitando así el campo de ésta á la parte de la instalación, en la que es verdaderamente necesaria. Todas las fábricas que antes no daban abasto al pedido de máquinas de corriente continua, é iban relegando al olvido como curiosos y raros los alternadores, transformadores, etc., sufren un cambio radical; la gran demanda de máquinas de este género hacen que de día en día se introduzcan en ellos importantes mejoras disminuyendo así los inconvenientes que presentaban.



Sección transversal de la casa de máquinas.

transporte de fuerza de Lauffen, situado á la enorme distancia de 170 kilómetros, empleando corriente trifásica de 15.000 voltios entre los hilos de la línea. Esta instalación ha sido la más atrevida y feliz demostración, no solamente de la conveniencia de las tensiones elevadas, sino de la aptitud de las corrientes polifásicas para los transportes de energía. El interés que despertó en todo el continente europeo fué grandísimo, brindándose el emperador de Alemania al conocer el proyecto á contribuir á su realización. Los resultados allí obtenidos fueron tales, que sin duda la instalación de Lauffen ha hecho época en el desarrollo industrial de las aplicaciones eléctricas.

A partir de aquí, el empleo de las corrientes polifásicas se desarrolla de una manera extraordinaria. Las modificaciones introducidas en la construcción de los motores polifásicos, van haciendo de éstos máquinas cada vez más perfectas y superiores á los de corriente continua, tanto por las condiciones de su funcionamiento como por su solidez; al mismo tiempo la facilidad con que se obtienen elevadas tensiones y la comodidad de su transformación, es causa de que se estienda considerablemente el radio de aprovechamiento de las fuerzas naturales y no encontrando el ingenie-

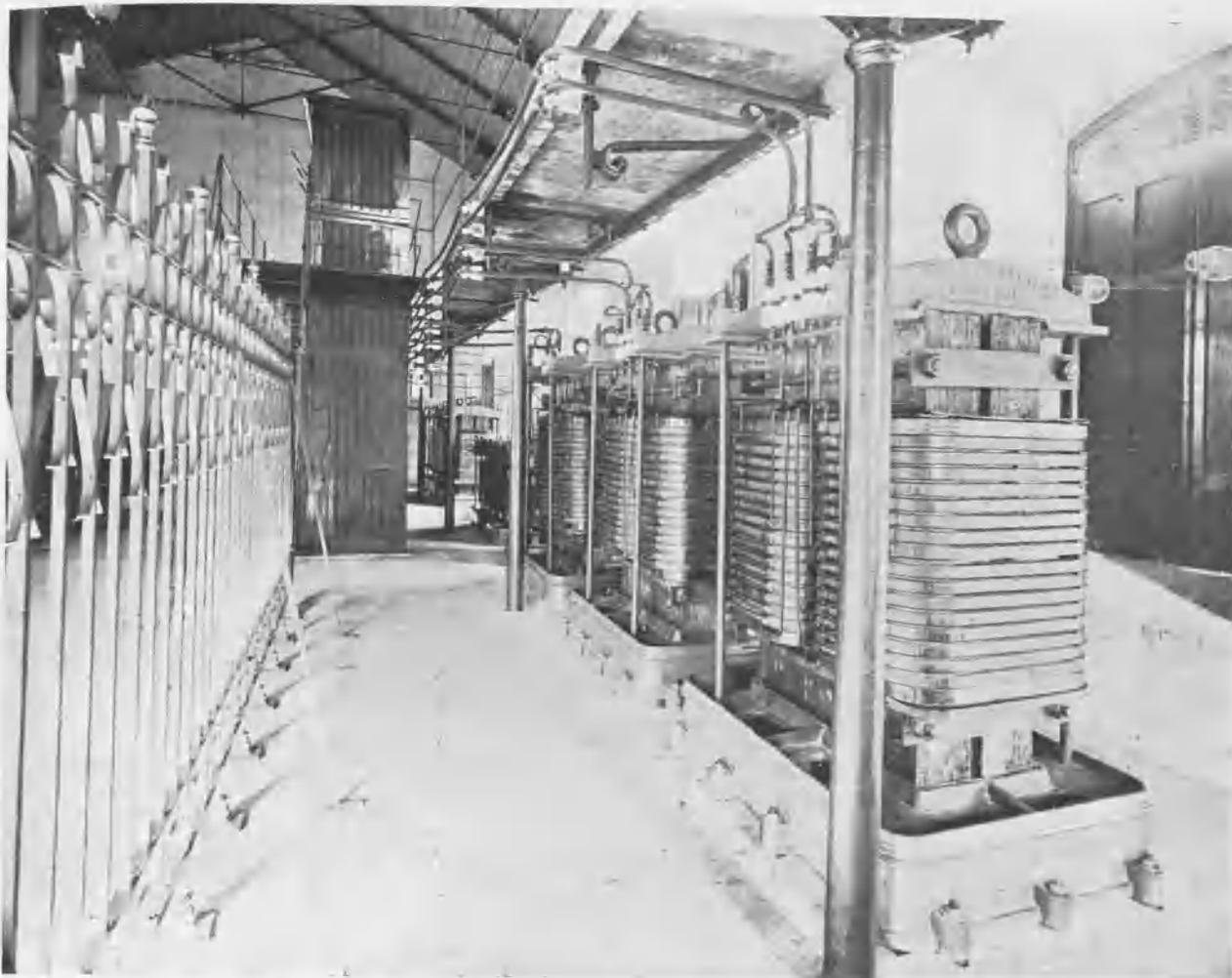
Este es el estado actual de las transmisiones de fuerza al realizarse en España el importante transporte de energía de Colmenar á Madrid.

*Elección del sistema de corriente.*—Vamos á ver las ventajas é inconvenientes que el empleo de los distintos sistemas de corriente hubiesen reportado á la instalación de Colmenar al elegirlos en lugar del trifásico en estrella que ha sido el preferido.

Pasaremos revista á las condiciones que presentan las instalaciones por corriente continua, alterna sencilla, trifásica en estrella y triángulo, difásica y exafásica.

Para realizar la transmisión de fuerza de Colmenar con corriente *continua* se hubiera seguramente empleado el *sistema serie* de Thury, cuyo fundamento es reunir un cierto número de dinamos, proporcional á la potencia de los aparatos de utilización, montados también en serie en el circuito. Tal sistema es necesario en este caso, toda vez que es muy difícil obtener en cada dinamo una tensión mayor de 3.500 voltios y, por tanto, para alcanzar una tensión más elevada es indispensable reunir varias en serie.

Las ventajas que esta disposición presentaría sobre la construída de corrientes trifásicas son: supresión de los



Grupos de transformadores-elevadores de la casa de máquinas.

efectos de inducción en las líneas; no ser necesario el emplear tres hilos; en igualdad de condiciones de aislamiento se pueden emplear tensiones más elevadas, puesto que las dificultades de aquél dependen de la diferencia de potencial máxima que es en las corrientes alternas 1,4 veces la fuerza electromotriz eficaz, aunque esta última ventaja no es admitida por los partidarios de la corriente alterna que sostienen, y á nuestro modo de ver con razón, que tiene gran influencia sobre las condiciones en que se encuentra un aislador la duración de la diferencia de potencial máxima que no es constante en el caso de corriente alterna, sino instantánea.

Con esta disposición, al mantener constante en la Central la corriente, la pérdida en la línea  $RI^2$  es también constante, cualquiera que sea el consumo, variando la tensión proporcionalmente á la potencia utilizada. Como cada dinamo puede dar 3.500 voltios, según ya se ha dicho, reuniendo varias de éstas se obtienen elevados voltajes sin que realmente los sufran los enrollamientos de las máquinas, que son la parte delicada de la instalación: basta decir en apoyo de esto último que Mr. Thury cree poder alcanzar la enorme tensión de 70.000 voltios en su transporte de Ginebra.

En el caso del transporte de Colmenar se comprende las grandes dificultades que este encadenamiento de toda la instalación hubiese originado, exigiendo que al separar del circuito un aparato cualquiera, tanto en la fábrica como en casa del abonado, fuese sustituido por una débil resistencia; además, el empleo de reguladores de velocidad de los motores y de intensidad de la corriente, los colectores y escobillas, siempre indispensables en el material de corriente continúa, ocasionando un entretenimiento muy delicado, y sobre todo la dificultad de transformación de estas corrientes respecto de las trifásicas, unido al perfeccionamiento de los motores polifásicos son inconvenientes tan grandes en

un transporte de las condiciones del de Colmenar Viejo que creemos evidente no ha debido adoptarse en él la corriente continúa.

La corriente *alterna sencilla* debe limitarse al transporte de fuerza destinado exclusivamente para el alumbrado ó cuando menos para aquellos casos en que la carga debida á los motores sea sólo una pequeña parte, pues en estas condiciones, el sistema monofásico presenta la ventaja de que estando todas las lámparas sobre una fase se puede regular la tensión perfectamente y se obtiene además una instalación más sencilla. No está, pues, indicada para la instalación de Colmenar, en la que la energía se aplica á motores casi exclusivamente. Además, como la energía va á ser transformada en corriente continúa, tiene importancia la consideración de que el par que desarrolle el motor que acciona la dinamo sea constante, como sucede en los motores polifásicos, mientras que la transformación por medio de un alternador monofásico y una dinamo exige el empleo de máquinas que suplan, por su reacción de inducido é inercia, las variaciones de la potencia eléctrica absorbida. Se ve, pues, que en las condiciones que reúne el transporte de Colmenar la mejor solución es la de emplear corrientes polifásicas.

La economía de cobre que con algunos sistemas *polifásicos* se obtiene en la línea de transporte, unido á las excelentes condiciones de funcionamiento de sus motores y á la propiedad que tienen de dar lugar á generatrices más económicas, son las principales ventajas de esta clase de corrientes; influyen, pues, beneficiosamente en los tres elementos del transporte: la generatriz, la línea y la receptoriz.

La economía de 25 por 100 de cobre en la línea de transporte que las corrientes trifásicas originan respecto de las monofásicas, á igualdad de condiciones, ha sido muy discu-



tida, pero hoy día es un principio admitido por la mayor parte de los ingenieros; las discusiones han sido debidas á no fijar con toda exactitud las condiciones en que cada uno se colocaba para establecer dicha comparación, pues aunque todos la efectuaban á igualdad de potencia transmitida, longitud de la línea, pérdida por efecto Joule y diferencia de potencial con que se emplea la corriente, queda por determinar entre qué partes de la instalación se considera dicha igualdad de diferencia de potencial. Si es entre un hilo de la línea y tierra es evidente que cada hilo del sistema monofásico será vez y media la del trifásico; la economía será, pues nula en la hipótesis en que nos hemos colocado de igualar el riesgo de rotura del *aislamiento de la línea*. Si por el contrario se toma como base de comparación la diferencia de potencial máxima entre dos hilos cualesquiera de la línea, hay una economía de cobre de 25 por 100 y claro es que entonces no se igualan los riesgos de rotura del *aislamiento de los enrollamientos, de los alternadores, transformadores, etc.* Esta es la que realmente debe considerarse en la práctica, y de aquí una de las grandes ventajas de la elección de las corrientes trifásicas en el transporte de Colmenar, puesto que el peso del cobre empleado en la línea de Madrid, que es de 21.200 kilogramos, se hubiera elevado á 28.260 kgs. con corriente mono ó difásica de cuatro conductores, y á 41.100 kgs. con difásica de tres conductores.

De los dos enrollamientos trifásicos en *estrella y triángulo* se ha elegido el primero, que tiene la gran ventaja en los transportes de elevados voltajes de que la diferencia de

potencial en cada una de las bobinas es sólo  $\frac{1}{\sqrt{3}}$  de la de la línea.

El temor de que la desigual carga en las fases origine variaciones de tensión no tiene importancia, sobre todo en este transporte en el que casi toda la energía se destina á accionar motores.

Las corrientes *difásicas* ya hemos dicho el aumento de peso de cobre que originan, de ahí que no sean de recomendar en este caso; se aplican en las distribuciones mixtas de lámparas y motores, puesto que se facilita su regulación y la red de alimentación es más sencilla, pues basta llevar dos hilos á cada punto de distribución.

Además, las corrientes difásicas exigen interruptores tetrapolares y cuatro hilos para el transporte, pues el sistema difásico de tres conductores no se emplea por conducir á desiguales reparticiones de corriente, y sobre todo, por dar lugar á un aumento grande de cobre.

Las corrientes *exafásicas* se emplean desde hace muy pocos años, y con cierta predilección para los transformadores rotativos, por su mayor estabilidad, y ocasionar menores pérdidas por efecto Joule y repartición de calor en el inducido más favorable. Funcionan en los tranvías de Nueva-York, metropolitano de París, etc. No están en ningún modo indicadas para el transporte que se estudia.

De todo lo dicho se deduce, que el sistema de corriente trifásica con enrollamiento en estrella, está perfectamente elegido en el caso del transporte de Colmenar.

*Tensión de 15.000 voltios.*—Como la potencia transmitida por una línea depende de la intensidad y voltaje de la corriente y la pérdida de energía depende sólo de la intensidad y de la resistencia óhmica del hilo resulta que teóricamente puede reducirse indefinidamente el peso de cobre con sólo aumentar la tensión.

En la práctica, sin embargo, se encuentran limitaciones debidas por un lado á la necesidad de que el diámetro del conductor tenga la suficiente resistencia mecánica, y por otro á la dificultad del buen funcionamiento de las instalaciones á gran voltaje; este segundo motivo es el que generalmente limita las transmisiones de energía á grandes dis-

tancias, y de ahí que el esfuerzo de todos los constructores tienda á elevar la tensión máxima que *industrialmente* puede emplearse en la actualidad.

Hace algunos años era muy rara la instalación que empleaba una tensión de 10.000 voltios, considerada hoy como cosa corriente; la célebre instalación del Niágara prevista para la enorme potencia de 50.000 caballos, transportaba parte de esta energía á Búfalo á la tensión de 11.000 voltios; los transportes de Lanceny en Francia á 12.000 voltios, el de Padermó en Italia á 15.000 y tantos otros que se pueden citar, han dado tan buenos resultados que el temor que en un principio causó á los ingenieros el empleo industrial de las altas tensiones ha ido desapareciendo, y de día en día se tiende á elevar más el voltaje, asegurando el especialista Scott que para los transportes á muy gran distancia se puede y debe llegar á 50 y 60.000 voltios. Así vemos que recientemente se hace el transporte á Méjico con 22.000 voltios, que la tensión de la instalación del Niágara se eleva de 11.000 á 22.000, que en la de Snoqualmie Falls, en el Estado de Washington (tan importante como la del Niágara, pues su salto vertical natural es de 82,30 metros, representando una potencia de 30.000 á 100.000 caballos) se emplean corrientes trifásicas á 30.000; en el transporte á Oakland, á 230 kilómetros, corriente á 40.000 voltios que se espera subir á 60.000, y por último, el transporte de Canon Ferry y Butte, de 92 kilómetros, se realiza con corrientes trifásicas á 50.000 voltios, (descrita en el *Electrical World* del 13 de Julio,) siendo estos datos elocuentísima prueba de la tendencia de los ingenieros á elevar el voltaje en los transportes á grandes distancias.

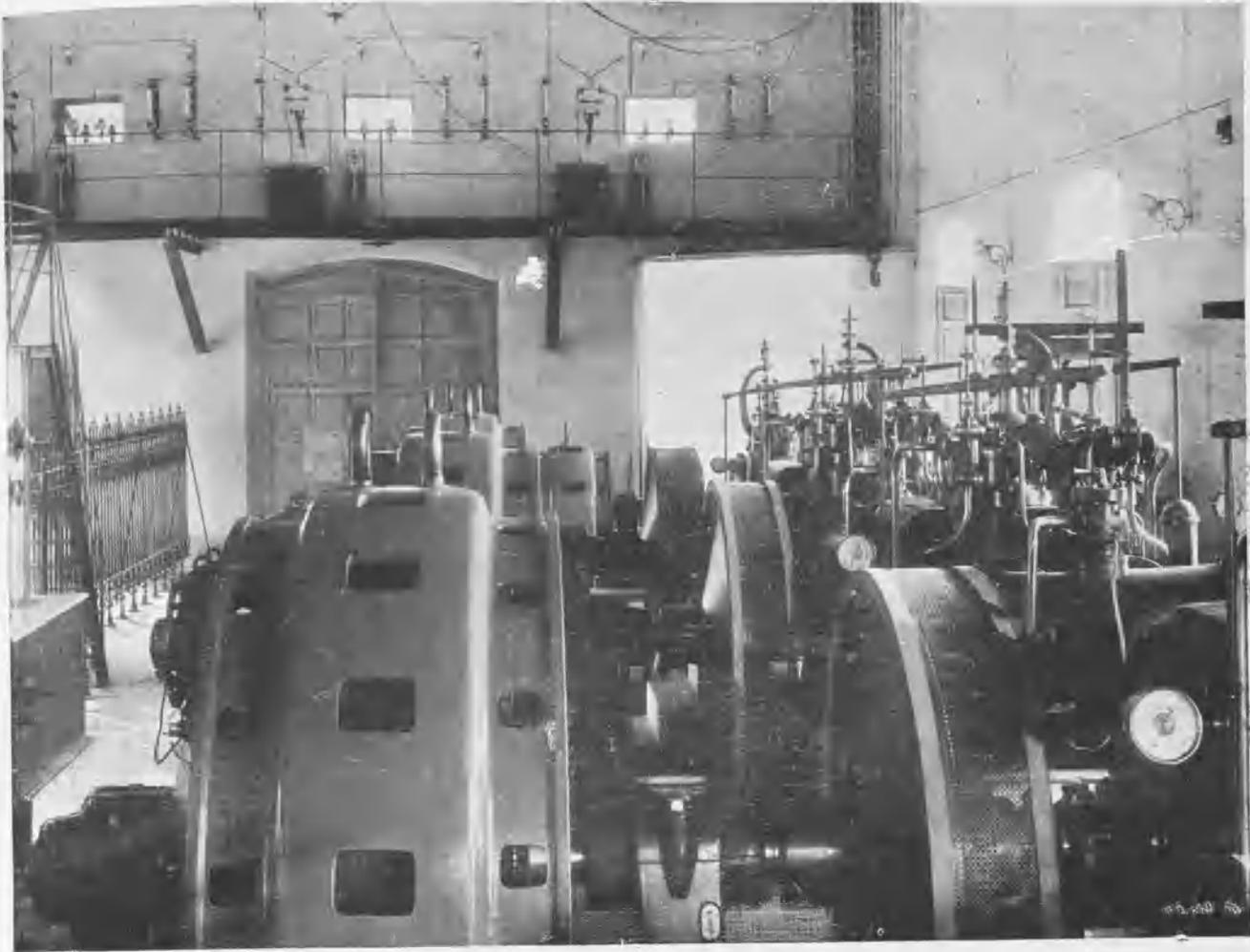
Hoy día puede decirse que para tensiones hasta de 40.000 voltios, se han vencido las dificultades debidas al aislamiento; dispersión por las líneas y protección contra el rayo; para el empleo de las altísimas tensiones el obstáculo formidable que se presenta es la dispersión de energía entre las líneas adyacentes á partir de 60.000 voltios, y se considera actualmente que con una dispersión inferior á 160 voltios por kilómetro se puede transmitir á 100.000 voltios, siempre que los conductores estén soportados por líneas sujetas á postes paralelos separados más de seis metros.

Para formarse idea de la importancia que tiene la elección de tensión en el transporte de Colmenar, hé aquí los pesos del cobre de la línea, calculado para tensiones de 10, 15, 20 y 30.000 voltios, y pérdida de potencia de un 10 por 100.

Tensión de 10.000.....	Peso	47.700 kilogramos
" 15.000.....	"	21.200 "
" 20.000.....	"	11.925 "
" 30.000.....	"	5.300 "

*Teóricamente* los datos anteriores nos indican la economía obtenida con el empleo de las elevadísimas tensiones y está muy generalizada la creencia de que una vez excedido del límite en que la tensión sea peligrosa para el hombre, y partiendo de que el contacto con un hilo á 15.000 voltios es tan peligroso como con otro á 30.000, optan por la tensión más elevada en vista de la gran economía de cobre que así obtienen.

Tal creencia es completamente errónea, pues el coste del aislamiento de la línea aumenta con la tensión; el precio de las máquinas, alternadores y transformadores, así como el del cuadro y accesorios aumenta también; además, es preciso mayores separaciones entre todos los hilos, y por tanto las dimensiones de la Central crecen. Todos estos elementos influyen poderosamente en el coste de instalación, y aunque no puede determinarse su importancia por una fórmula tan sencilla como la que liga, el precio de la línea con la tensión y pérdida admitidas, no por eso es menos cierta y debe tenerse muy presente en el estudio económico de un transporte de energía.



Vista de los grupos hidro-eléctricos.

Por otra parte, tampoco es cierta la creencia general de que á mayor voltaje es más económico el transporte, porque la corriente de carga crece con la tensión y el aumento relativo de corriente que por este motivo suministra la Central es mayor á medida que se eleva el voltaje. La situación de la estación generatriz y de la línea limitarán en cada caso el voltaje más económico.

Pero aún hay un factor todavía más importante que justifica el acierto de no haber empleado en Colmenar una tensión mayor que 15.000 voltios, y es que el éxito financiero de una instalación de este género depende en gran parte de que sean poco frecuentes las interrupciones durante la explotación; y á medida que se eleva la tensión las probabilidades de que éstas ocurran por averías de las máquinas, roturas de aisladores, descargas atmosféricas, etc., aumentan considerablemente. Con la tensión de 15.000 y pérdida de potencia de 10 por 100 el diámetro que resulta es de seis milímetros, que es muy conveniente, tanto por razones mecánicas como eléctricas.

Nos parece, por tanto, muy prudente haberse limitado al empleo de corrientes de 15.000, que están industrialmente probadas durante muchos años y no arriesgar un negocio de la importancia del que se describe, elevando la tensión para obtener una economía en el cobre del transporte, que es innecesaria para la realización económica de la transmisión, toda vez que la distancia no es más que de 28 kilómetros.

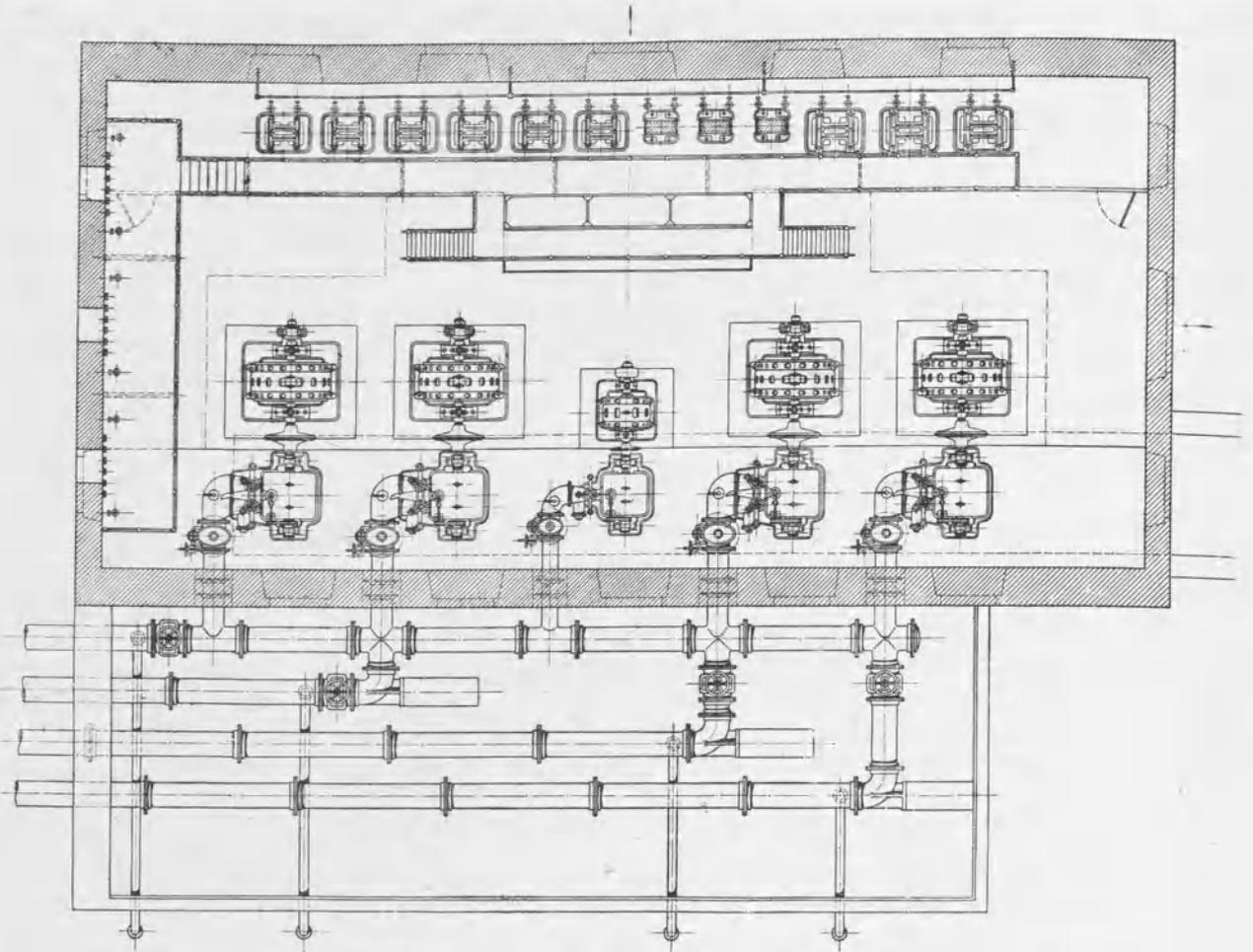
*Frecuencia de la corriente.*—En Europa se ha generalizado tanto la frecuencia de 50 períodos por segundo que, exceptuando algunas instalaciones de la casa Ganz, de Budapest, de frecuencia más baja, es casi la única que se emplea. En América, por el contrario, se da mucha importancia á elegirla especialmente según las circunstancias.

En Colmenar se ha elegido la de 50. El empleo de una

menor frecuencia hubiese tenido el inconveniente de dar una luz menos fija; y aunque la parte de energía destinada al alumbrado es de poca importancia, como existen arcos voltaicos y éstos son verdaderamente sensibles á las bajas frecuencias, sería éste motivo suficiente para no bajar de 40 la frecuencia de la Central, á menos de usar transformadores de fase. Al emplear menor número de períodos disminuye un poco el rendimiento de los motores, si bien pueden trabajar así á velocidades más reducidas; y respecto al rendimiento de los transformadores es también más deficiente, puesto que las pérdidas en el núcleo son mayores al disminuir la frecuencia de la corriente.

Pero el empleo de una menor frecuencia hubiese presentado las siguientes ventajas: la pérdida en la línea, debida á su auto inducción, disminuye; las generatrices necesitan un menor número de polos y son, por tanto, más económicas; se facilita la regularidad exigida en la marcha de los alternadores, tan importante cuando en el circuito de alimentación existen motores síncronos, y se realiza en mejores condiciones el acoplamiento de las generatrices por ser mayor la acción de las corrientes sincronizantes desde el momento que se disminuye la reactancia  $2 \pi f L$  del alternador.

Como antes se ha dicho, los americanos, tratando en cada caso de ver la importancia de las ventajas é inconvenientes que se acaban de indicar, emplean muy distintas frecuencias, siendo la más usual la de 60 períodos, que la aplican á casi todas las instalaciones de luz y fuerza; pero llegan hasta 125 en algunas pequeñas centrales de luz; la frecuencia 40 se encuentra en sus transportes de fuerza y en las distribuciones de energía de sus grandes talleres y fábricas que al mismo tiempo tienen alumbrado eléctrico. En algunas centrales importantes aún consideran 40 períodos como ci-



Planta general de la casa de máquinas.

fra excesiva para sus grandes unidades eléctricas directamente acopladas á máquinas de vapor lentas, y recurren á la frecuencia 25 como en la *Brooklyn Edison Centrale* y en el transporte del Niágara. Se encuentran frecuencias aún más reducidas en la explotación de los hornos de carburo de calcio, donde, á causa de la débil tensión que exigen, se llega á corrientes tan fuertes que aun para redes poco extensas la auto-inducción es considerable; éste es el motivo de adoptar un número de períodos comprendido entre 10 y 20.

La tendencia en Europa es, por el contrario, á unificar todas las máquinas y aparatos desde el punto de vista de la frecuencia, y bien claro se acusó aquélla en el concurso ce-

lebrado con motivo de la construcción del transporte de Colmenar, al que concurrieron las casas más importantes de Europa, y excepto la casa Brown, que aconsejó la frecuencia 45, todas las demás presentaron sus presupuestos con material de frecuencia 50.

Creemos, pues, que á pesar de las ventajas que una menor frecuencia hubiese reportado al conjunto de la instalación, ha sido conveniente fijar en 50 el número de períodos á causa de las dificultades con que en general se tropieza en Europa al construir y explotar una instalación de frecuencia distinta.



## Descripción detallada de la instalación del transporte

El gran interés que todas las casas constructoras más importantes de Europa manifestaron para suministrar el material de esta instalación, dió origen á que el concurso que motivó la adquisición de máquinas para la Central fue-se muy reñido; las causas principales fueron sin duda la importancia del transporte y la proximidad á Madrid, unido á ser considerada esta instalación como el primer paso de un vasto plan.

Lucharon las casas Brown, Rieter, Schuckert, Siemens, Leclique, Alioth, Oerlikon y «La Industria Eléctrica» de Barcelona, se pidieron sinnúmero de datos para asegurarse de la bondad del material, y por fin fué adjudicado el material á la «Industria Eléctrica», que dió garantías tan especiales respecto del resultado que había de obtenerse en las pruebas de sus máquinas, que decidió el concurso en su favor.

### Descripción de la Central de Colmenar Viejo.

La Central de Colmenar Viejo está compuesta en la actualidad de cuatro grupos hidroeléctricos: tres de 500 caballos y uno de 250.

Cada grupo está formado por una turbina de eje horizontal, con aspiración de cuatro metros y regulador de velocidad, unido directamente á los alternadores por medio de manguitos elásticos sistema Raffard; estos alternadores engendran corriente trifásica á 800 voltios compuestos, que es elevada á 15.000, por intermedio de transformadores monofásicos elevadores.

En las figuras correspondientes á la planta y sección de la casa de máquinas, se ha representado también el quinto grupo, que en su día se instalará.

En su descripción se seguirá el siguiente orden:

- Turbinas.
- Alternadores.
- Transformadores.
- Cuadro de distribución, y
- Pararrayos.

Finalmente se harán algunas consideraciones sobre el conjunto de la disposición de esta Central.

**Turbinas.**—Actualmente se han instalado tres turbinas de 500 caballos efectivos y una de 250.

Han sido construídas por la casa *Escher Wyss de Zurich*, que también se ha encargado de su montaje.

*Turbina de 500 H P.*—Las condiciones en que funcionan estas turbinas son:

Caída neta.....	93,80 metros.
Gasto por segundo.....	550 á 570 litros.
Potencia desarrollada.....	500 caballos próximamente.
Número de vueltas.....	375 por minuto.

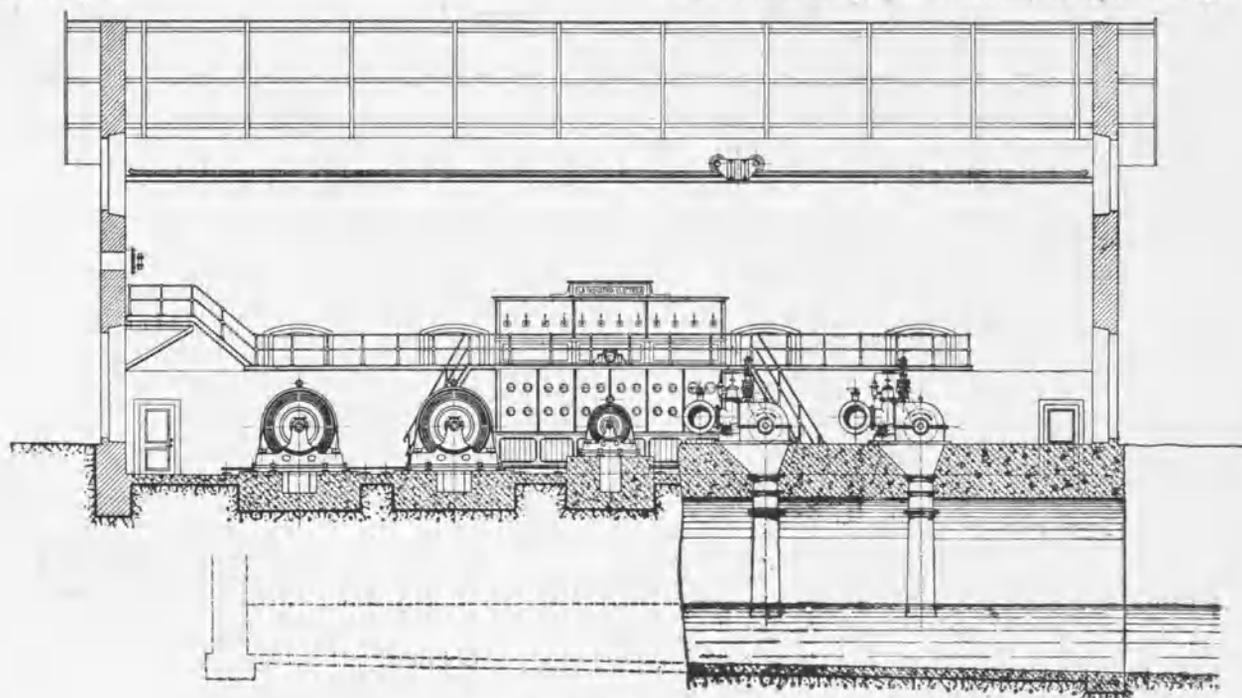
Cada turbina consta de dos ruedas motrices montadas sobre un árbol común; el tubo principal de conducción de agua se divide en otros dos, cada uno de los cuales alimenta su rueda correspondiente; para regular la cantidad de agua que llega á éstas, cada tubo está provisto en su extremo de una lengüeta móvil que permite graduar el orificio de entrada del agua, proporcionalmente á la energía pedida en cada momento.

Para conseguir este objeto, la turbina lleva un regulador centrífugo ó de bolas que acciona la lengüeta, pero como ésta presenta una resistencia tal á su desplazamiento que la energía suministrada por el regulador no es suficiente para vencerla, es preciso la intervención de una energía intermediaria (servo motor).

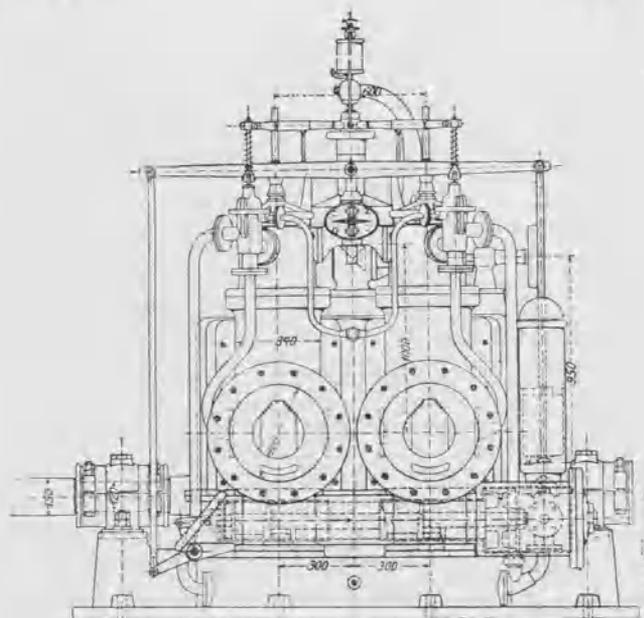
Así, pues, el movimiento de la lengüeta se obtiene por un motor hidráulico, que toma el agua motriz de la tubería principal y cuyo émbolo se ha unido á la lengüeta, mientras que el regulador centrífugo se limita á accionar el distribuidor de dicho motor.

Por medio de una palanca común, los movimientos del regulador, de la válvula de admisión y del émbolo que gradúa la presión, son sin embargo independientes los unos de los otros, de manera que á una posición determinada del regulador corresponde otra posición fija de la lengüeta exactamente igual que si esta última fuese accionada directamente por el regulador.

Para evitar los golpes de ariete, hé aquí la disposición



Sección longitudinal de la casa de máquinas.



Turbina de 500 caballos.—Proyección vertical.

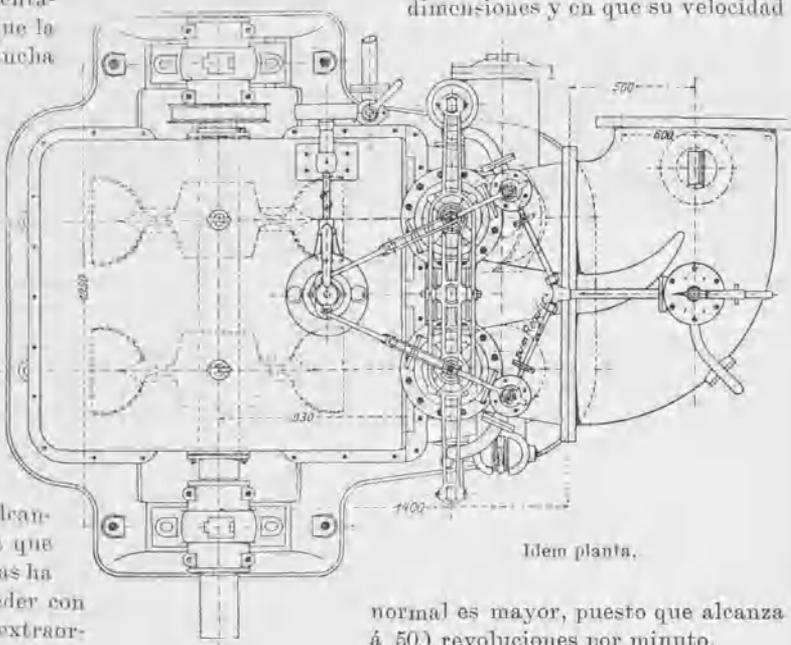
adoptada: junto á la extremidad del tubo de alimentación se ha practicado un orificio de igual sección que la del extremo del tubo, que es de 100 milímetros de anchura y 70 milímetros de alta; esta abertura puede ser estrechada ó ensanchada en las mismas proporciones que la de salida del tubo, por medio de un servo-motor especial accionado también por el regulador. Claro es que si este orificio estuviese constantemente abierto, ocasionaría pérdidas de agua considerable; así, pues, para evitar esto, se ha colocado un contrapeso con freno de aceite, que en cuanto se abre el orificio lo cierra lentamente y de una manera automática. Este freno se puede graduar para conseguir que el tiempo que tarde en obrar el contrapeso y cerrar esta salida, sea suficiente para que no sean de temer los golpes de ariete en la tubería.

Como de los datos reunidos sobre las alturas alcanzadas por el agua en sus máximas avenidas resulta que en el sitio donde está emplazada la casa de máquinas ha llegado á 29,27 sobre el nivel en estiaje, para proceder con la debida prudencia en previsión de una avenida extraordinaria, se ha dispuesto el piso de la casa de máquinas á 33,60 sobre dicho nivel; con objeto de no perder, pues, una fracción importante de la altura del salto, las turbinas

funcionan con caída de aspiración. La cámara de agua se ha cerrado herméticamente de manera que el aire no entra más que por el agua que sale de la turbina. Por efecto de la rarefacción de aire así obtenida en aquella cámara, la presión con que el agua sale del tubo de alimentación se ha aumentado. Claro es que la caída total de aspiración no se aprovecha, sino que, por el contrario, el aumento obtenido es el correspondiente á la rarefacción del aire; si esta última fuese demasiado grande y el nivel de agua abajo subiese hasta llenar la cámara de agua, trabajaría la rueda motriz dentro del agua y su rendimiento se perjudicaría considerablemente. Con objeto, pues, de impedir que el agua se eleve más de lo necesario, se ha colocado un flotador y una válvula de aire; en cuanto el agua alcanza un nivel excesivo, un flotador abre la válvula, el aire penetra en la cámara de agua y baja el nivel de la columna de agua; cuando ésta llega á la altura debida, el flotador vuelve á su posición normal y cierra la entrada de aire. Con esta disposición se consigue que el nivel de agua abajo no varíe más que algunos centímetros.

Un manómetro indica la presión de entrada del agua y un vacuómetro la aspiración obtenida.

*Turbina de 250 H P.*—Es del mismo tipo que las de 500 H P y no difiere más que en sus dimensiones y en que su velocidad



Idem planta.

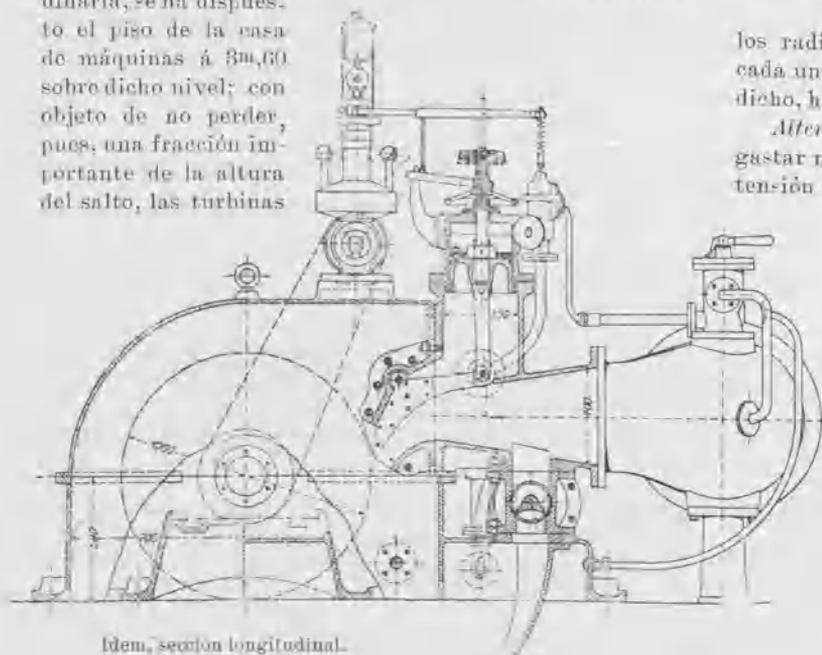
normal es mayor, puesto que alcanza á 500 revoluciones por minuto.

**Alternadores.**—Son del tipo de polos radiales de inductor móvil é inducido fijo, llevando cada uno su excitatriz montada sobre el eje. Como ya se ha dicho, hay en la actualidad tres de 500 caballos y uno de 250.

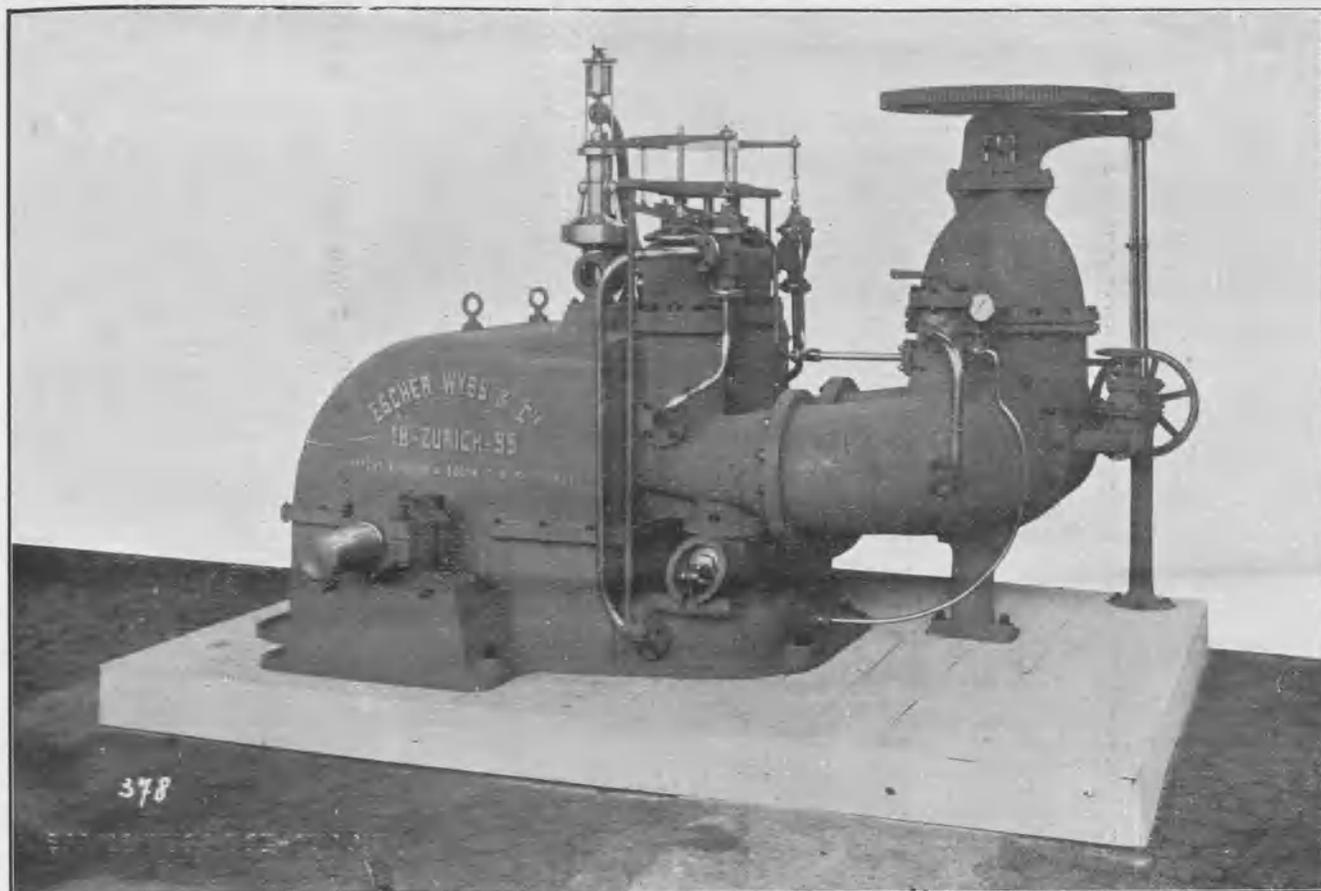
*Alternadores de 500 caballos.*—Están contruidos para gastar normalmente una corriente de 309 amperios con una tensión compuesta de 800 voltios á la velocidad de 375 vueltas por minuto. Pueden, pues, dar su potencia completa trabajando sobre un circuito inductivo  $\cos \varphi = 0.8$ .

El inductor móvil está constituido por una especie de polea de acero montada sobre el árbol, á la que se enlazan las piezas polares. Estas son en número de 16 y están formadas por palastros aislados entre sí por papel, y redondeados en su parte inferior para apoyarse perfectamente sobre la superficie de la polea. El diámetro del inductor, contado sobre las piezas polares, es de 149 centímetros, y la longitud de éstas 45.

Los ensanchamientos polares están redondeados en forma tal que el entrehierro vaya creciendo gradualmente á partir del eje de



Idem, sección longitudinal.



**Turbina de 500 caballos.**

cada pieza polar, con objeto de que la curva de la tensión creada sea sensiblemente sinusoidal. Los palastros polares están enlazados por clavijas rectangulares de acero que los atraviesan y se sujetan en los palastros extremos, que son de ocho milímetros de espesor. En estas clavijas se labran además las tuercas de los cuatro tornillos que sujetan cada polo á la polea de acero.

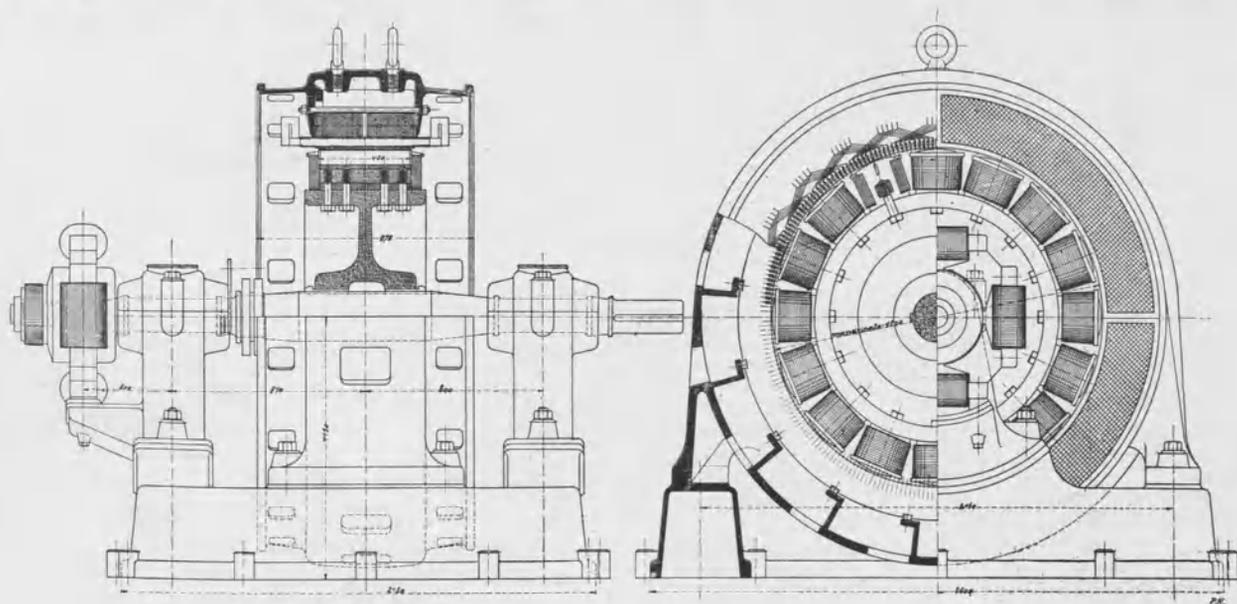
El enrollamiento de cada polo está constituido por 120 espiras de hilo cuadrado de seis milímetros de lado; el hilo cuadrado está justificado por la velocidad lineal del inductor, que es bastante elevada, pues alcanza 27 metros.

El núcleo del inducido está formado también por palastros; éstos se han dividido en dos grupos separados 15 mi-

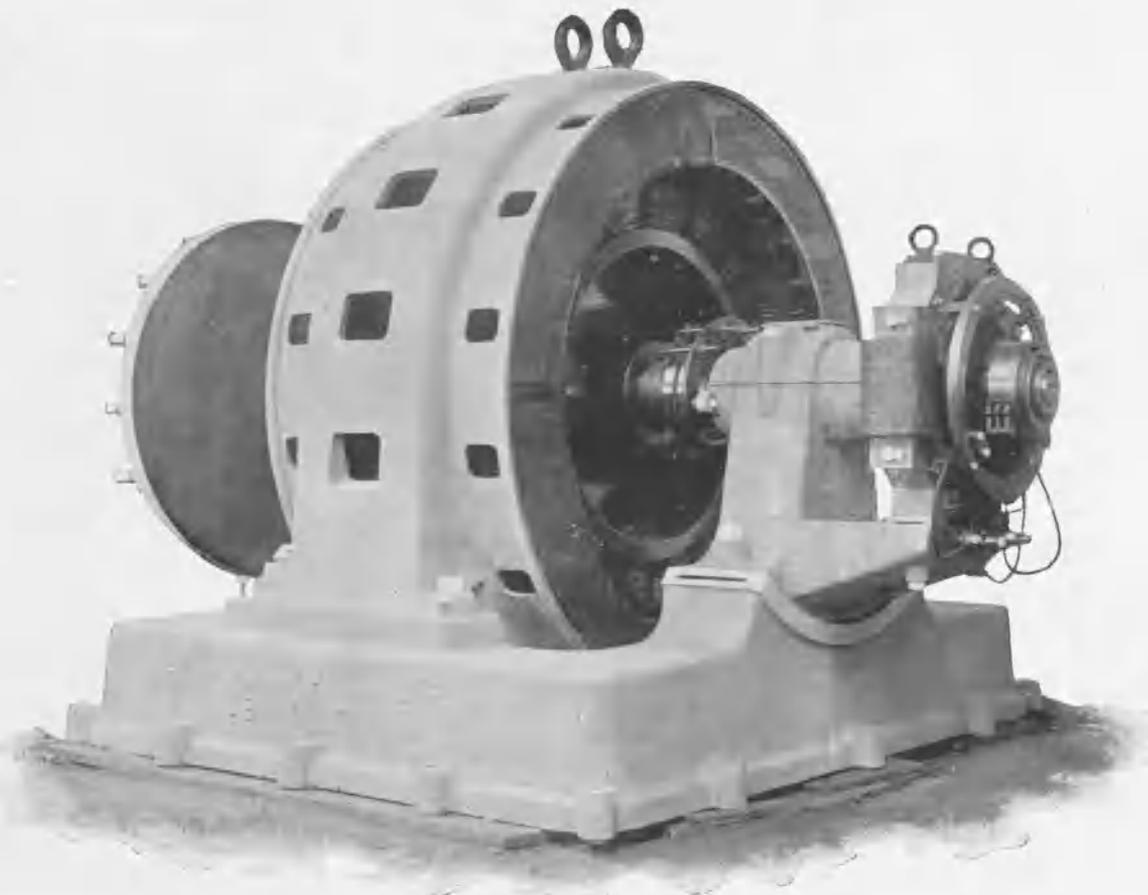
límetros, con objeto de ventilarlo. Los palastros se sujetan, por intermedio de piezas de bronce, á los nervios, dispuestos radialmente sobre el bastidor.

El enrollamiento inducido está dividido en 24 bobinas, ó sea ocho por fase; cada una se compone de cinco espiras y cada espira de dos barras de cobre de  $22 \times 5$  milímetros, con los ángulos redondeados; de esta manera queda repartido el devanado en 24 ranuras aisladas por medio de tubos de micanita de dos milímetros de espesor.

*Excitatriz.*—La corriente de escitación se obtiene por una excitatriz tetrapolar tipo Thury, montada directamente sobre el árbol del alternador. Está construída para gastar normalmente 60 amperios con una tensión de 110 voltios.



**Alternador de 500 caballos.—Secciones.**



Alternador trifásico de 500 caballos.

El diámetro del inducido es de 424,5 milímetros y la longitud 130.

*Alternador de 250 caballos.*—Su disposición general es en un todo semejante á la de los alternadores de 500 H. P., no variando más que sus dimensiones. La velocidad es de 500 vueltas por minuto. El número de polos es de 12.

La escitatriz está construída para gastar normalmente 45 amperios á 100 voltios.

En los dos tipos de generadores, el bastidor que sostiene el alternador con su escitatriz, se encuentra perfectamente aislado del macizo de hormigón que constituye su cimiento, para lo cual descansa sobre fuertes aisladores de porcelana.

**Transformadores.**—En lugar de emplear transformadores elevadores que transformen directamente la corriente de 800 á 15.000 voltios, se han colocado grupos de tres monofásicos, enlazados en estrella. Como una distribución trifásica en estrella no es más que la reunión de tres circuitos monofásicos, en que de los seis hilos se suprimen los tres de retorno, enlazándose los otros tres en un punto común, resulta que recíprocamente una corriente trifásica puede ser transformada por intermedio de tres monofásicas.

Para ello se ha dispuesto junto á las tres barras colectoras alimentadas por los cuatro generadores, una cuarta barra á la que se enlaza siempre uno de los terminales de baja tensión de cada transformador; el otro terminal de cada uno de los tres transformadores de un grupo se une á su barra colectora respectiva.

Las conexiones entre los transformadores y las barras de alta, son simétricas. Bastará, pues, que la tensión monofásica primaria del transformador sea de  $\frac{800}{\sqrt{3}} = 462$

voltios y la secundaria de  $\frac{15.000}{\sqrt{3}} = 8.660$  para que la resultante entre los tres hilos de la línea sea 15.000 voltios.

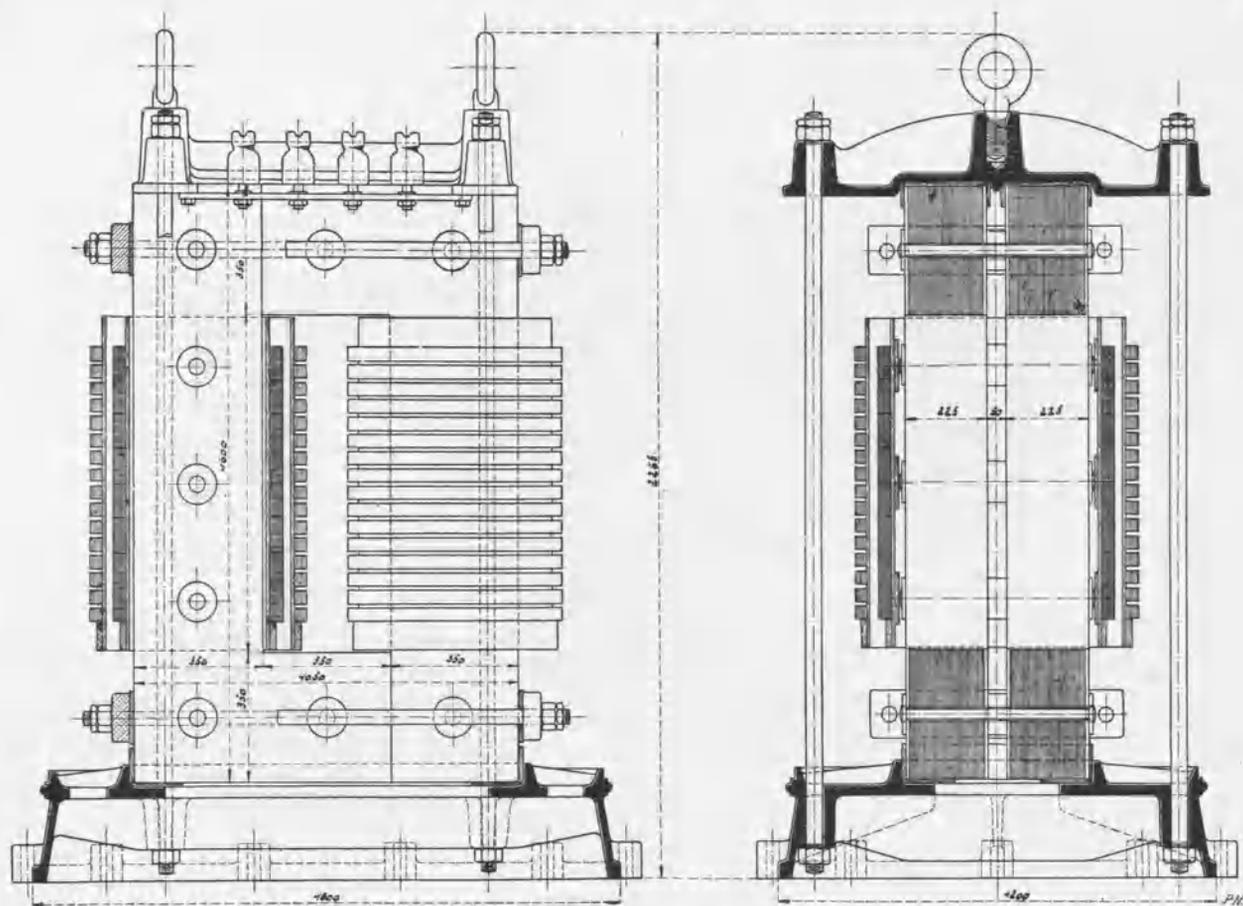
Hay montados tres grupos de transformadores, ó sea nueve en total, á saber: tres transformadores de 280 Kw, tres de 140 Kw y tres de 64 Kw.

*Transformadores de 280 Kw.*—Son de tipo rectangular y su relación de transformación de 462 á 8.660. El circuito magnético está compuesto de palastros, aislados entre sí por papel y cogidos con fuertes clavijas sujetas á los palastros extremos. La sección de cada uno de los montantes del núcleo magnético, es de 1.280 cm<sup>2</sup>, éste se ha dividido en dos partes separadas 50 milímetros, para obtener una buena ventilación.

El enrollamiento primario ó de baja tensión se coloca por la parte exterior sobre un tubo de cartón y mica de diez milímetros de espesor y se ha dividido en cuatro grupos en paralelo, ó sea dos por montante, compuesto cada uno de ocho bobinas en serie. Cada bobina á su vez se compone de ocho espiras de  $36 \times 2$  milímetros; están espaciadas 10 milímetros entre sí, por medio de tacos de madera parafinada.

El enrollamiento secundario ó de alta dispuesto en el interior del tubo sobre el que se ha montado el primario, lleva 1.200 espiras en tensión, agrupadas en 16 bobinas, ó sea ocho por montante. El diámetro del hilo es de siete milímetros. Cada bobina está aislada exteriormente por una fuerte envolvente de mica de 2 milímetros de espesor. El secundario de los transformadores se ha aislado de la masa de los palastros por un tubo de cartón y mica de 10 milímetros de espesor. El espacio entre este tubo y el del primario es tal, que la separación entre las bobinas secundarias y primarias es de 20 milímetros, obteniéndose así la ventilación del transformador.

Con la d. visión de los enrollamientos primario y secundario, en un cierto número de bobinas enrolladas y aisladas independientemente, además de obtener un aislamiento perfecto del transformador, se consigue desmontarlo con gran rapidez, facilitándose así las reparaciones en caso de avería.



Transformador de 500 K.-V.-A.

*Transformadores de 140 Kw.*—La relación de transformación es la misma de 462 á 8,660 y su construcción idéntica. Los datos de este transformador son:

Sección de un montante.—950 cm<sup>2</sup>.

Primario.—80 espiras en tensión, enlazándose los dos montantes en paralelo; el conductor se compone de dos cintas de 45 × 1,75 milímetros.

Secundario.—1.504 espiras en tensión, hilo de 5,5 milímetros recubierto de tres capas de algodón.

Aislamiento entre el primario y secundario: tubo de cartón y mica de 10 milímetros de espesor; aislamiento entre secundario y la masa: tubo de mica y cartón de 10 milímetros de espesor.

*Transformadores de 64 Kw.*—Sección de un montante 630 cm<sup>2</sup>.

Primario.—101 espiras en tensión, hilo de 8,2 milímetros. Los dos montantes unidos en paralelo.

Secundario.—1.904 espiras en tensión, hilo de 2,7 milímetros recubierto de tres capas de algodón.

Aislamiento idéntico al del transformador anterior.

Los enrollamientos secundarios de los transformadores de 140 y 64 Kw. están repartidos como los de las unidades de 280 Kw., en un cierto número de bobinas enrolladas y aisladas independientemente.

**Cuadro de distribución.**—Consta de dos partes dispuestas una encima de otra; la inferior está reservada á los aparatos generales y á los de las generatrices, y la superior á los aparatos que enlazan las barras colectoras de baja al primario de los transformadores. (Véase fig. de la pág. 16.)

El cuadro de distribución está constituido por un entramado metálico y placas de mármol; como está colocado en el centro de la nave, y se ha prolongado su alineación con dos verjas, resulta la nave de la central dividida en dos partes separadas completamente; una, la sala de turbinas y alternadores que comprende también la parte anterior del cuadro; otra la de transformadores y cables á 15.000 voltios.

La primera tiene acceso por la puerta principal del edificio; en la segunda, reservada exclusivamente á los encargados de la Central, se halla la escalera que conduce á la parte superior del cuadro y á la galería de pararrayos. Con esta disposición se evita el peligro que resultaría de la libre circulación alrededor de máquinas y conductores sometidos á tan elevadas tensiones.

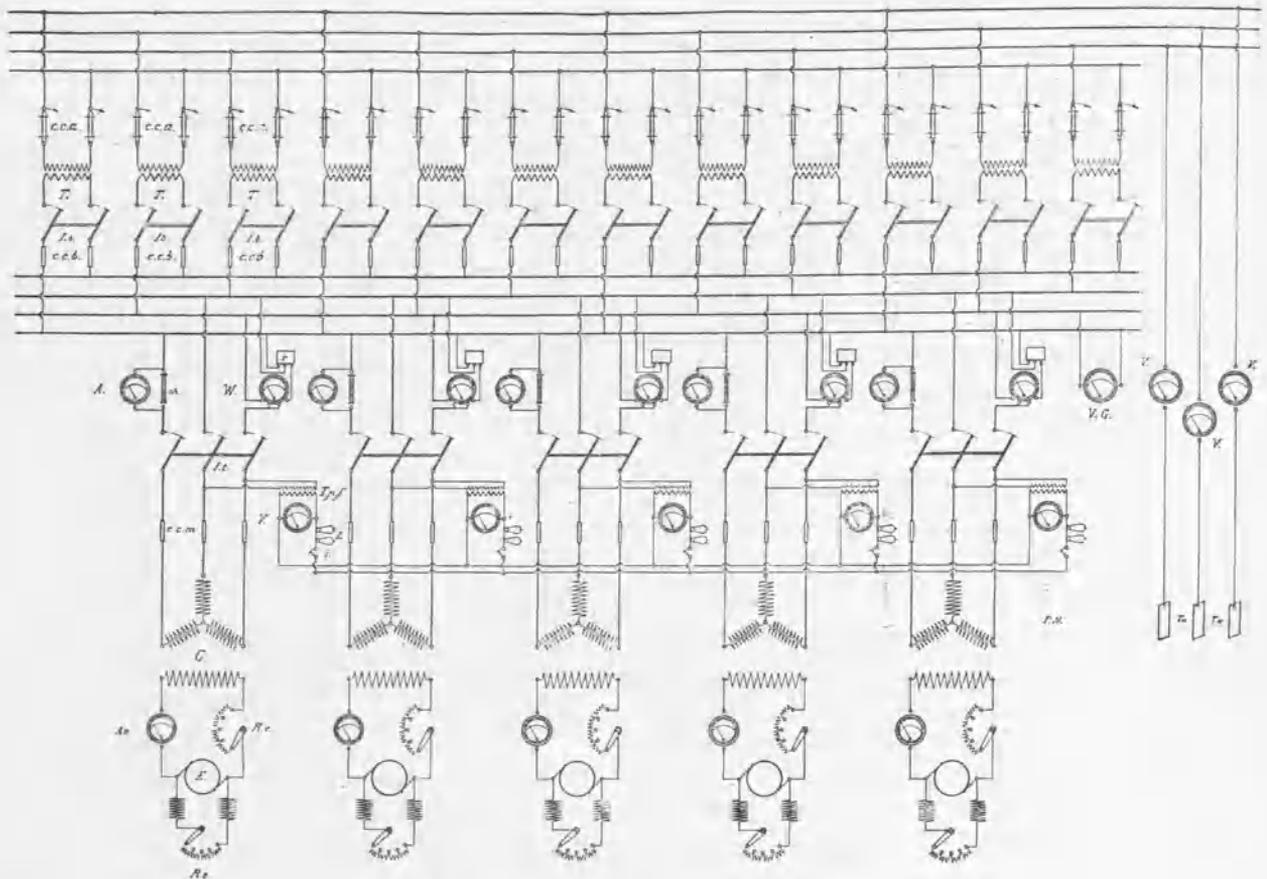
En sentido longitudinal el cuadro consta de cinco paneles iguales, correspondientes á los cinco grupos hidroeléctricos que en su día habrá y un sexto panel que no lleva más que los voltímetros electrostáticos.

La descripción puede limitarse, por la perfecta simetría de la Central, á detallar la disposición de las conexiones de un generador, dividiéndola para mayor claridad en tres partes: circuito de excitación, circuito de 800 voltios y circuito de 15.000 voltios.

*Circuito de excitación.*—El circuito de corriente continua comprende la dinamo excitadora su reostato de regulación, el de su excitación, el inductor del alternador y el amperímetro que indica el consumo de aquella (fig. de la pág. 28.)

Los dos reostatos se hallan en el cuadro de distribución, uno en la parte inferior del mismo y el otro en el saliente horizontal que aquél presenta á la altura de un metro. Los cables de enlace de los reostatos con la excitatriz están alojados en un canal de hormigón de cemento de 0,50 metros de alto y 0,60 de ancho, situado debajo del entarimado general de la Central.

*Circuito de baja tensión.*—Los tres conductores desnudos que arrancan de los terminales de cada transformador y conducen la corriente trifásica, se sujetan sobre aisladores de doble campana, alojados en el canal de hormigón antes citado, llegando así por esta canalización subterránea hasta la parte correspondiente del cuadro, y después de pasar por tres fusibles de baja tensión, terminan en un corto circuito tripolar, cuya palanca manejada desde la parte anterior del cuadro abre ó cierra el circuito en la parte poste-



Esquema de la Central de Colmenar.

- G. .... Generatriz.
- E. .... Excitatriz.
- R. c. .... Reostato del campo del alternador.
- R. e. .... Reostato de la excitación de la excitatriz.
- A. e. .... Amperímetro de la excitación.
- c. c. m. .... Corta-circuito de la máquina.
- L. t. .... Interruptor tripolar.
- T. p. f. .... Transformador para la puesta en fase.
- L. .... Lámparas indicadoras de fase.
- I. .... Interruptor de las lámparas.
- V. .... Voltímetro.

- A. .... Amperímetro.
- s. h. .... Shunt del amperímetro.
- W. .... Vatímetro.
- r. a. .... Resistencia adicional del vatímetro.
- c. c. b. .... Corta-circuito de baja tensión.
- L. b. .... Interruptor de baja tensión.
- T. .... Transformadores elevadores.
- c. c. a. .... Corta-circuito de alta tensión.
- V. g. .... Voltímetro general.
- V. .... Voltímetros electrostáticos.
- T. p. .... Placas de tierra.

rior de éste, alejando así todo peligro para el operador. Tanto dicho interruptor como los fusibles, están montados sobre placas de mármol, independientes de la general del cuadro y aisladas entre sí con dobles roldanas de porcelana y ebonita.

Un transformador de medida colocado detrás del cuadro y derivado de dos de los conductores trifásicos, reduce la tensión secundaria á 100 voltios; en este circuito secundario se han colocado las lámparas indicadoras de fase, necesarias para el acoplamiento de los alternadores y un voltímetro que acusará la tensión de una de las fases del generador.

Los tres conductores de la corriente trifásica del alternador, después de pasar por el corta-circuito tripolar antes descrito, llegan á tres barras colectoras, que corren á lo largo del cuadro de distribución; un amperímetro indica la intensidad en uno de los hilos y un vatímetro, cuyo circuito en tensión se ha derivado de los tres conductores y que lleva una resistencia adicional, señala la potencia útil de la máquina en el caso de que las fases estén equilibradas. Además un voltímetro general situado en el centro del cuadro indica directamente el voltaje entre dos hilos. Todos estos aparatos de medida son del tipo Hartmann & Braun.

Por último, una cuarta barra colectora está situada jun-

to á las otras tres y se unen estas barras de baja tensión con los transformadores en la forma antes descrita, intercalándose en los cables de enlace los fusibles de baja situados en la parte posterior del cuadro y los corta-circuitos bipolares análogos á los anteriores; las palancas de éstos se ven en la parte superior del cuadro.

**Circuito á 15.000.**—Las cuatro barras colectoras de alta corren á lo largo de la pared de la sala contigua á los transformadores, y á una altura mínima de cinco metros sobre al suelo. Son de hilo desnudo de cobre de seis milímetros de diámetro, sujetos al muro por aisladores de triple campana de porcelana.

Los fusibles bipolares de alta tensión de los transformadores, están también fijados á la pared y se manejan desde una galería de tres metros de altura, con largas tenazas de madera.

Cada uno de ellos se compone de un hilo fusible colocado en el interior de un tubo de porcelana y tendido entre dos terminales que penetran en dos resortes fijos de cobre, montados sobre fuertes aisladores de porcelana. Con objeto de que pueda ser utilizado el corta-circuito como interruptor, el terminal inferior puede girar y el superior tiene unos cuernos de zinc para que entre ellos se produzca la chispa de rotura.

Tres voltímetros electrostáticos colocados en el cuadro

indican la diferencia de potencial entre cada barra colectora de alta y tierra. Las tres barras que llegan á la galería de pararrayos de la Central, están defendidas por fusibles de alta y pararrayos, derivándose después las dos líneas trifásicas destinadas al transporte de fluido á Madrid y Colmenar, que salen por las tres pequeñas ventanas situadas encima de la puerta principal; para terminar pues la descripción de la Central, se indicarán los pararrayos empleados.

**Pararrayos**—En cada hilo se ha dispuesto un pararrayos Siemens, un Würtz y un Thury.

El tipo Siemens de cuerno en el que la reacción electro-dinámica entre la corriente principal y la del corta-circuito origina una ascensión del arco, y por tanto su rotura es el más conocido y por tanto no se describirá. (Véase la figura de la pág. 33.)

El tipo Thury también es muy usual y por tanto se describirá solamente el pararrayos americano Würtz, considerado hoy día como el mejor y que es muy poco conocido en España.

Este tipo de pararrayos, combina el principio de la división del arco con la propiedad bien conocida que tienen ciertos metales de apagarlo por efecto de la formación de óxidos no conductores. No se pueden aplicar más que para corrientes alternas, pues el arco continuo se produce muy fácilmente entre estos metales y los funde inmediatamente á causa de tener su temperatura de fusión relativamente baja.

Cada elemento del pararrayos consta de siete cilindros pequeños de superficie dentellada, cogidos entre dos piezas de porcelana; entre estos cilindros queda un espacio de aire de un milímetro. A medida que la tensión de la línea que se trata de proteger aumenta, es preciso disponer un mayor número de elementos. Para la tensión de 15.000 voltios empleada en Colmenar se han dispuesto diecisiete elementos, cuyo diagrama de conexión se ve en la figura. En el circuito principal se han colocado seis bobinas cuya auto-inducción es un obstáculo infranqueable para el rayo que busca salida á través de los espacios de aire y los cilindros, toda vez que este camino no presenta auto-inducción y sí sólo una gran resistencia óhmica.

En el montaje de estos pararrayos es preciso tener cuidado de que por el lado de la línea de transporte lo primero que se encuentre sea un elemento de pararrayos, mientras que por el lado del alternador tiene que hallarse una de las bobinas.

Con la disposición adoptada para que el rayo llegue á tierra, tiene que atravesar siete elementos.

La causa de que estos pararrayos no se generalicen estriba principalmente en su elevado precio.

**Consideraciones sobre la Central de Colmenar Viejo.**—

Una vez terminada la descripción detallada de la Central de Colmenar Viejo, hagamos algunas consideraciones sobre sus distintos elementos, fijándonos especialmente en la división de la potencia total, y en las condiciones que reúnen las turbinas, alternadores transformadores y pararrayos elegidos.

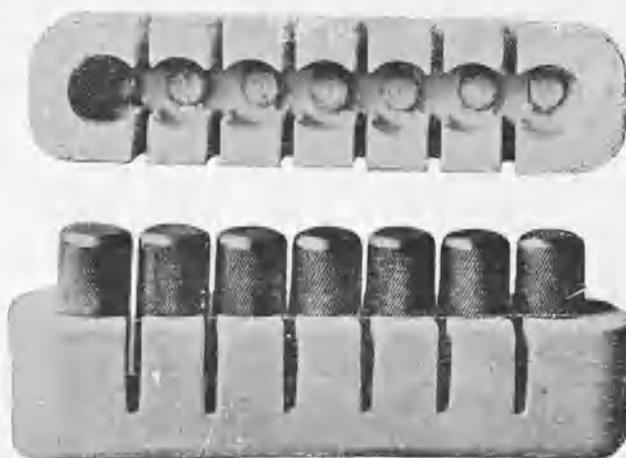
**Potencia de cada grupo hidro-eléctrico.**—La potencia total se ha dividido en tres grupos de 500 caballos efectivos y uno de 250. Aunque en general es muy conveniente que todas las unidades empleadas sean de igual potencia, no sólo para su manejo y reparaciones, cuanto por realizarse en mejores condiciones el acoplamiento de alternadores exactamente iguales, en la instalación de Colmenar, no se



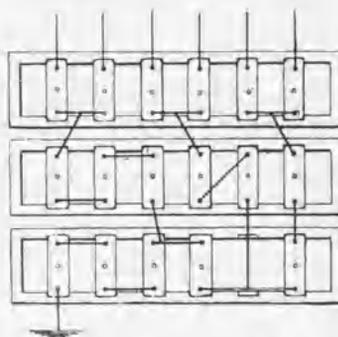
Fusibles de alta tensión.

ha seguido este principio. El motivo que ha obligado á ello es el siguiente: si durante todo el estiaje se hubiera podido contar con que el caudal del río Manzanares no descendía de unos 500 litros, es evidente que la solución más ventajosa bajo todos conceptos, era la antes indicada de emplear máquinas de igual potencia, y constituir la Central con cuatro máquinas de 450 caballos cada una; bastaba que estuviesen éstas calculadas con alguna holgura, pudiendo trabajar temporalmente con una sobrecarga de un 25 por 100, para que tres de ellas aprovecharan casi toda la energía disponible en caso de avería de la cuarta, y se evitase la máquina de reserva. Pero en la actualidad y mientras obras ulteriores que se proyectan construir no permitan aprovechar las aguas sobrantes de invierno, resulta que el caudal del río Manzanares durante el estiaje disminuye mucho, y por tanto, si no hubiese una unidad pequeña de 250 caballos, el rendimiento de la Central sería muy deficiente, precisamente en los momentos en que mayor falta hace aprovechar toda la energía disponible; este inconveniente, que sería muy grave, es el motivo por el que se ha empleado una unidad de 250 caballos.

Claro es que una vez admitida la necesidad de esta máquina de 250 caballos, aún caben distintas soluciones para la repartición del resto de la potencia, pero la adoptada de unidades de 500 caballos, resulta muy conveniente toda vez que el empleo de grupos de menor capacidad hubiese con-



Pararrayos Würtz.—Detalle de uno de los elementos.



Pararrayos Würtz.—Esquema de conexiones.

ducido á un excesivo fraccionamiento de la potencia, y por consiguiente, á un mayor gasto, y las unidades mayores de 500 caballos no las construyen las casas constructoras, sino es especialmente para cada caso lo que siempre origina algunas dificultades; además, en caso de avería de alguna de éstas, la parte de potencia inutilizada es mayor.

**Turbinas.**—Las condiciones más importantes que deben reunir son:

Asegurar la continuidad de su funcionamiento.

Soportar una gran variabilidad de carga.

La primera condición depende exclusivamente de la construcción mecánica, de la sencillez de su mecanismo y de la facilidad de sus reparaciones. Las ruedas motrices empleadas en esta instalación, son desde este punto de vista muy convenientes.

Para que la turbina funcione en buenas condiciones, es necesario no solamente que las variaciones de rendimiento á distintas cargas no sean muy grandes, sino que el sistema de regulación sea rápido y sensible, permitiendo una variación brusca de carga sin que la velocidad varíe mucho, para llegar á la nueva posición de equilibrio. En esta instalación los reguladores empleados de Escher Wyss tan conocidos universalmente, permiten esperar un inmejorable funcionamiento.

**Tensión de los alternadores.**

—Para obtener la tensión de 15.000 entre los hilos de la línea, necesaria para el transporte, se han adoptado transformadores elevadores en lugar de alternadores que den directamente en sus terminales tan enorme tensión.

Mucho se ha escrito en pro y en contra de cada una de estas dos disposiciones y ambas fueron propuestas por las distintas casas constructoras para la Central de Colmenar Viejo. Los alternadores que producen directamente la tensión de transporte presentan varias ventajas de importancia, pues evitan el gasto de los transformadores, la Central da mayor rendimiento total, suprimen el cuadro de baja tensión y permiten la instalación de una casa de máquinas más sencilla, económica y fácil de vigilar. Los inconvenientes son debidos, por una parte, al peligro de emplear máquinas que no están todavía suficientemente probadas desde el punto de vista industrial, y por otra, á que las averías de las líneas afectan directamente á los generadores, mientras que los transformadores elevadores pueden servir en cierto modo de pantallas entre aquéllas y los alternadores. Además, una máquina para 15.000 voltios ha de tener una potencia suficiente con objeto de que haya el espacio necesario para el aislamiento de los enrollamientos sometidos á tan gran voltaje. Se ve, pues, que de día en día ha de ir disminuyendo la importancia de estos inconvenientes.

En apoyo de que la opinión más generalizada por el momento es, sin embargo, la de emplear transformadores elevadores, se pueden citar los transportes de Lauffen, el del Ródano á Ginebra, el del Rhin en Rheinfelden; la transmi-

sión del Niágara, la de Albemarle, la de Méjico, la de Bakersfield en California, y muchísimas otras que se encuentran en condiciones muy semejantes á las de la instalación de Colmenar, con tensiones de transporte comprendidas entre 11.000 y 22.000 voltios, y en todas las cuales se hace uso de transformadores para alcanzar dichos voltajes.

Por el contrario, en el transporte de Padermo á Milán, estudiado por el célebre electricista Ferraris, y que se cita siempre como modelo de transmisión de energía, se adoptó el tipo de generatriz (de 2.000 caballos de fuerza), produciendo directamente 15.000 voltios. En España tenemos también, aunque de menor voltaje, los alternadores de los saltos de agua de Granada y Vitoria, que engendran corriente á 4.200 y 8.000 voltios respectivamente; y por último, la Central de Algar, próxima á inaugurarse y construída por los mismos ingenieros de la instalación de Colmenar, producirá directamente la tensión de transporte de 12.000 voltios.

En resumen: comprendiendo que las ventajas de los alternadores á 15.000 podían haber sido grandes, y reconociendo que serán sin duda alguna las máquinas del porvenir, nos parece más prudente haber empleado hoy día para el transporte de Colmenar la solución admitida de transformadores elevadores.

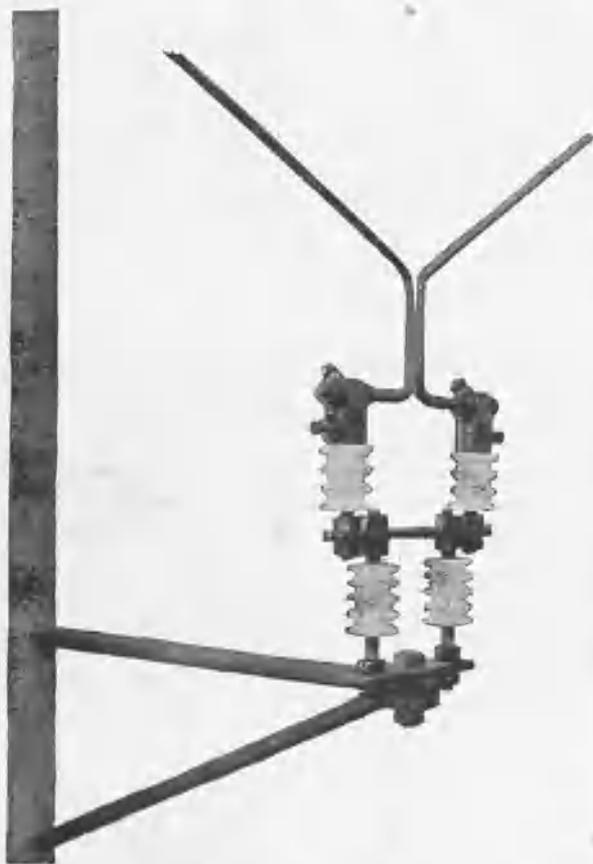
**Tipo de alternadores.**—Tres tipos distintos se fabrican, á saber: los de inductor móvil, los de inducido móvil y los de inducido é inductor fijo; se han elegido los primeros.

Los alternadores de inducido móvil tienen la ventaja de su menor reacción interior, lo cual es muy importante en Centrales como la de Colmenar; pero tratándose de máquinas de 500 y 250 H P de potencia y de tensiones elevadas, son preferibles los de inductor móvil porque se suprimen las escobillas en el circuito de 800 voltios.

Los alternadores del tercer tipo, que tan en boga estuvieron hace años, tienen el grave defecto de dar lugar á una dispersión de flujo grande, además, como el inducido no está sometido á ciclos magnéticos completos, sino á semiciclos, es preciso aumentar el peso total y la velocidad angular de la armadura móvil resultando, por tanto, un precio mayor, un rendimiento menor y mayor caída de tensión en el inducido. Así, pues, no se han admitido á pesar de las ventajas del pequeño gasto de excitación y de su solidez excepcional, pues esta última consideración sería importante en una pequeña Central á cuyo cargo no pueda haber personal muy escogido, pero no en una instalación como la de Colmenar.

Cada alternador lleva la excitatriz montada sobre su eje; esta disposición tiene la ventaja sobre la de excitatrices independientes accionadas por una turbina especial de evitar el gasto de agua adicional que estas necesitan; de aquí que en casi todas las instalaciones análogas se emplee aquella solución.

**Transformadores.**—El sistema de transformadores monofásicos enlazados en estrella adoptado en esta instalación, permite obtener la tensión de 15.000 voltios en la línea, con sólo tener 8.660 en los terminales de los circuitos secunda-



Pararrayos Siemens.

rios de aquéllos. Con el empleo de tres transformadores monofásicos en lugar de uno trifásico, se subdivide la potencia de cada uno de éstos y se obtiene una mayor independencia entre sus enrollamientos; pero el precio del material de transformación aumenta puesto que, de la misma manera que se economiza cobre al suprimir tres hilos de tres circuitos alternativos simples y reunir los otros tres en un punto común, se obtiene una economía correspondiente de hierro al reunir en una culata común las extremidades de los tres núcleos sobre los que se enrolla el cobre y constituir así el transformador trifásico. Ambas disposiciones se han empleado en esta instalación, pues, como se verá después, en las estaciones receptoras de elevación de agua y de Madrid se ha hecho uso de transformadores trifásicos.

La división de la potencia total en tres grupos de tres transformadores de 280, 140 y 64 Kw cada uno, no nos parece muy conveniente, pues sería mejor que la capacidad de los transformadores correspondiese con la de las máquinas y, por tanto, en lugar de tres unidades de 280 Kw hubiese seis de 140.

*Pararrayos.*—En la explotación de los transportes de energía eléctrica á gran distancia, una de las dificultades mayores con que se tropieza es la de preservar la instalación de los efectos de las descargas atmosféricas.

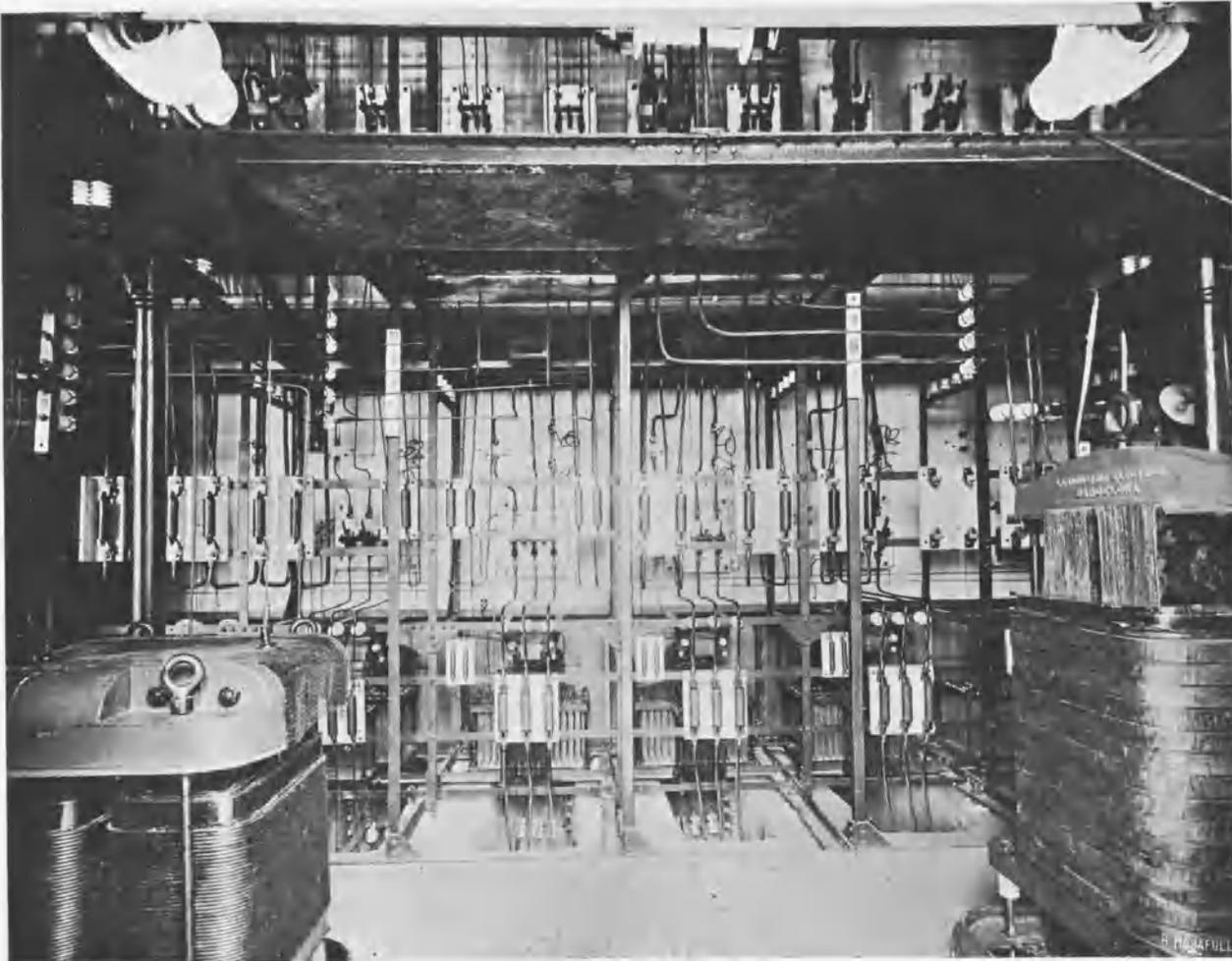
En la de Colmenar este peligro es importante porque la elevada tensión de trabajo obliga á aumentar la resistencia que la línea pone á tierra y además la longitud de los conduc-

tores expuestos á la influencia atmosférica es grande. Comprendiéndolo así sin duda, se han extremado las medidas de protección que actualmente se conocen y se ha empezado por aislar todas las máquinas en la Central.

Esta es la disposición más eficaz que hoy se conoce para proteger la máquina contra el rayo, como lo prueba el hecho de que en muchísimos casos ha habido que recurrir á ella, visto que no servían los demás medios de defensa, pudiéndose citar como ejemplo lo ocurrido en la Central de Pontresina, que fué dos veces destruída por el rayo en los dos primeros años de explotación, y desde que se aislaron las máquinas, hace de esto nueve años, no ha ocurrido accidente alguno.

Además se han colocado tres pararrayos en cada hilo.

El tipo Siemens que es sin duda el más generalizado de todos los conocidos, tiene el inconveniente de ser á veces perezoso para romper y dura bastante tiempo el corto circuito que establece con tierra; tampoco el Thury es muy eficaz cuando las descargas se suceden con rapidez, como suele ocurrir en algunas tormentas. El tipo Würts, en cambio es un aparato que reúne buenas condiciones, pues está siempre dispuesto á funcionar, apagando el arco por la propiedad que ya se ha dicho tienen el zinc y antimonio, y puede graduarse para todas las tensiones. Tiene el inconveniente gravísimo de costar hoy día cada grupo de tres, necesario para una instalación trisáfica, más de 4.000 pesetas.



Interior de la Central de Colmenar.—Vista posterior del cuadro.

## Descripción de las líneas de transporte

De la Central de Colmenar Viejo parten dos líneas aéreas de transporte de energía: una que llega a Madrid y otra a Colmenar Viejo.

### LÍNEA DE MADRID

La línea aérea de Madrid está constituida por tres hilos de cobre duro, separados entre sí 0,60 metros. Su longitud es de 28 kilómetros y su trazado es sensiblemente una línea recta. A los 2 kilómetros de la casa de máquinas, cruza la carretera del Hoyo; de Manzanares, penetra en los montes del Pardo, donde tiene un desarrollo de 17 kilómetros, atraviesa la Moncloa y pasando junto al cementerio de San Martín de esta corte, llega a la estación transformadora, situada en el encuentro de las calles Ancha de San Bernardo y San Rafael, después de pasar por las de Vallehermoso y Fernando el Católico. Sobre los mismos postes que la línea de transporte de energía van los dos hilos del teléfono que enlaza la Central de Colmenar Viejo con la estación transformadora.

**Conductores.**—Son de cobre duro de 6 milímetros de diámetro. Según los ensayos realizados, su densidad es 8,93; la resistencia a la tracción es de 39,78 kilogramos por milímetro cuadrado, el alargamiento permanente después de la rotura en la parte no afectada por la estricción es de 0,5 por 100; al plegar el hilo en un radio de 10 milímetros y ángulo de 90 grados alternativamente seis veces, se presentan las primeras grietas y a las ocho veces se rompe; su resistencia eléctrica es a la temperatura de 15° centígrados 0,581 ohmios legales.

La sección de estos conductores se ha determinado partiendo de que la fuerza que hay que transportar es de caballos 1.800 y la pérdida en línea un 10 por 100 aproximadamente con un valor  $\cos \rho = 0,9$ . En estas condiciones la corriente en cada hilo es 56,6 amperios.

Los hilos del teléfono van a una distancia mínima de 0,80 metros de los conductores de alta tensión.

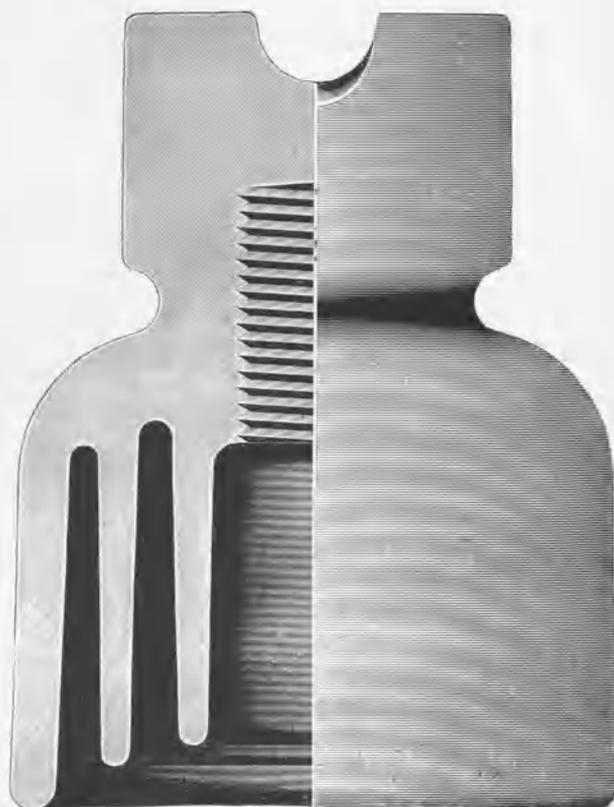
**Aisladores.**—El aislamiento de la línea sometida a una tensión tan elevada, exige el empleo de aisladores de una gran resistencia al paso de la corriente y que no sean perforados por la alta tensión empleada.

Se han adoptado dos tipos distintos construidos por la casa Hermsdorf, habiéndose colocado el primero en dos de los hilos de la línea y el tipo «Delta» en el tercero.

El primer tipo es de triple campana con diámetro en la base de 12 centímetros y una línea de fuga de 40 centímetros; la extremidad superior del soporte está situada por encima de la garganta donde se aloja el hilo, pues con esta disposición, aunque resulte menor el espesor de porcelana en el cuello ó sea la distancia entre el hilo, y el soporte, se consigue que la porcelana no trabaje a tracción. El peso de este aislador es de dos kilogramos. Se han colocado aisladores de este tipo bajo dos de los hilos, en toda la longitud del transporte hasta la entrada en Madrid.

El tercer hilo va sostenido sobre aisladores «Delta» que tienen una gran distancia entre el borde de la campana exterior y la travesía ó cruce del soporte.

Este aislador se ha construido partiendo del princi-



Aislador de triple campana.

pio de aumentar la línea de fuga, procurando disminuir la proporción entre las partes sometidas a la acción de las lluvias y las partes protegidas, constituyendo así un conjunto que ofrece el aspecto de varios paraguas abiertos de diferentes tamaños, y colocados unos dentro de otros.

A pesar de todas estas ventajas, se emplean poco debido al grave inconveniente de ser en la actualidad los aisladores más caros.

En Colmenar, por la disposición adoptada de dos aisladores de triple campana y uno Delta, y la separación admitida de los soportes, la posición que los conductores ocupan en la línea es el de las aristas de un prisma triangular de 0,60 milímetros de lado.

**Apoyos y soportes.**—Los postes empleados son de madera de diez metros de longitud, empotrados en el suelo 1,50 metros.



Entrada de la línea en Madrid.

Los soportes curvos de hierro galvanizado que sostienen los aisladores, van sujetos directamente al poste por medio de un pasador y un tornillo, estando los tres en un mismo plano vertical, normal á la dirección de la línea.

A la entrada de la línea en Madrid, se ha variado esta disposición, empleando en lugar de postes de madera castilletes en celosía de nueve metros de altura, de dos metros de anchura en su parte inferior y que van enterrados dos metros en un macizo de hormigón. En su extremidad superior llevan postes de haya de dos metros de altura, enlucidos con carbolineum y fuertemente empotrados. En cada poste se ha colocado una cruceta que sostiene dos de los aisladores, estando el tercero en la extremidad superior del poste; los tres conductores siguen ocupando las aristas de un prisma triangular de 0,60 metros de lado.

*Montaje de la línea.*—Como las causas de averías más frecuentes en la explotación, provienen de accidentes en los conductores de transporte, comprendiendo la importancia que para el éxito de esta primera transmisión de fuerza á Madrid tiene el buen montaje de la línea, se estudió éste con especial cuidado.

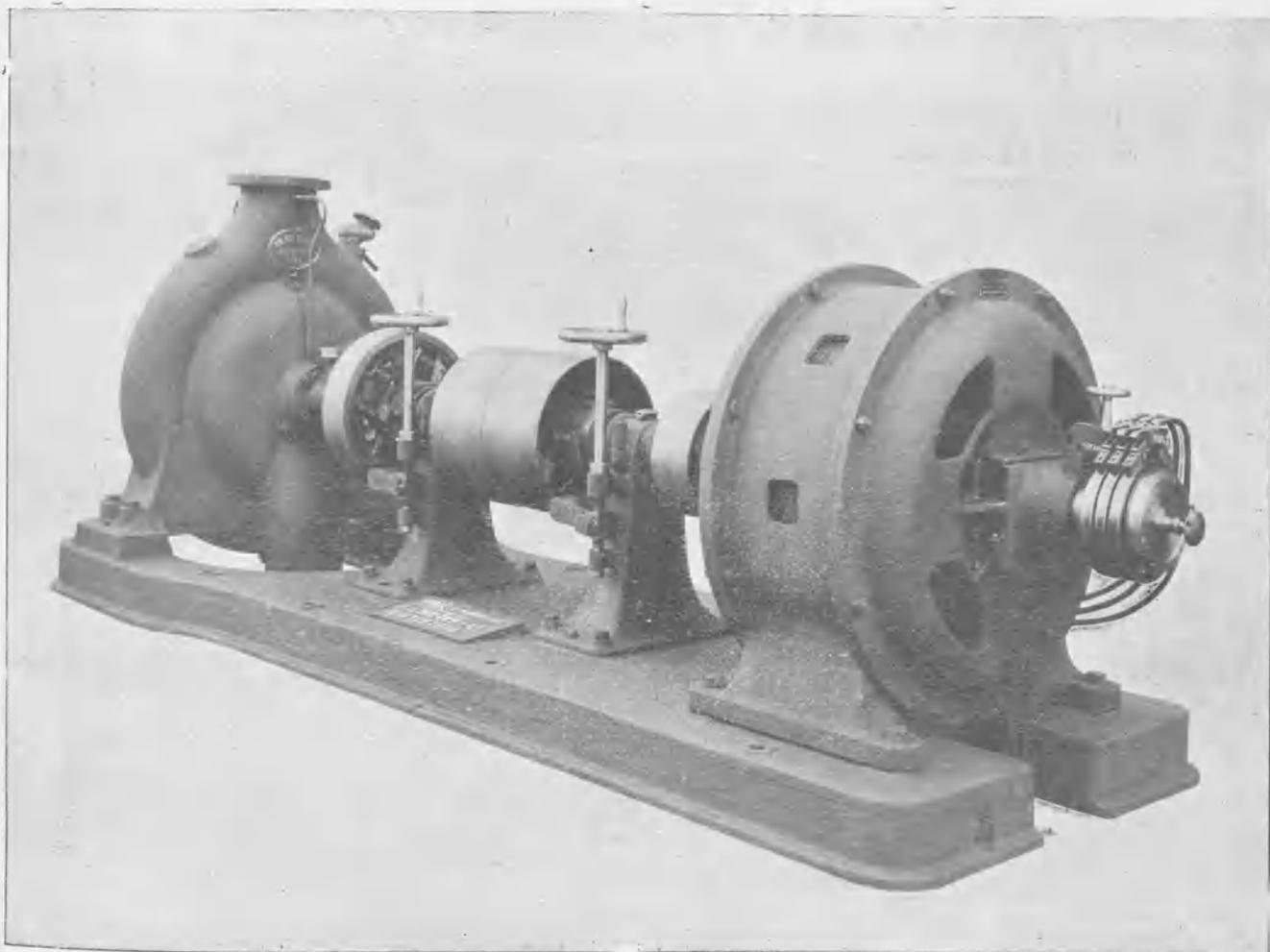
La parte inferior de los postes de madera que ha de ser enterrada se preserva de la acción destructora de la humedad del terreno, dándole una mano de alquitrán en una extensión de dos metros y sometiéndola á la acción de un fuego de mucha llama, hasta que el mismo poste arda y se carbonice en una profundidad de un centímetro próximamente, terminando la operación con una segunda capa de alquitrán; el objeto de la primera es que aun cuando arda algo de ella penetre también parte en la madera, y de este modo la segunda mano de alquitrán colocada después de la carbonización acaba la acción y la completa de una manera perfecta.

También se ha empleado como medio de protección el carbolineum.

La distancia media entre los postes es de 50 metros y sus alineaciones se han determinado con toda exactitud, para evitar los esfuerzos considerables, que surgen en los postes de ángulo, esfuerzos que traen aparejados el empleo de tornapuntas.

Los soportes se han sujetado á los postes de madera por medio de un pasador y un tornillo; los aisladores van azufrados á ellos y para facilitar el montaje del cable se han colocado de tal manera que las ranuras de su parte superior sigan la dirección de la línea. En algunos trozos en lugar del azufrado se ha hecho la unión de los aisladores con los soportes empleando estopa, con objeto de ver los resultados que da este sistema tan en boga actualmente en Suiza; por lo que hasta ahora se ha podido observar este enlace tiene la gran ventaja de no tener tanta rigidez como el de azufre, lo que disminuye las probabilidades de rotura del aislador por golpes en los postes y soportes; pero en cambio la mano de obra tiene que ser esmeradísima para que sea resistente la unión.

Para el tendido de la línea, que es una de las partes más delicadas, se ha determinado en cada caso la tensión que ha de tener el hilo, según la luz del vano y la temperatura ambiente, y se ha medido en el montaje por medio del dinamómetro. En España es creencia muy general, la de apreciar á sentimiento la tensión aplicada al hilo, sin tener en cuenta que ésta debe ser muy variable según las circunstancias y que ejerce una decisiva influencia sobre las condiciones de seguridad de la línea, toda vez que una tensión exagerada en el montaje es causa de que en la época de los grandes fríos, exceda aquélla de la carga límite y se rompa el conductor; y una tensión demasiado débil, además



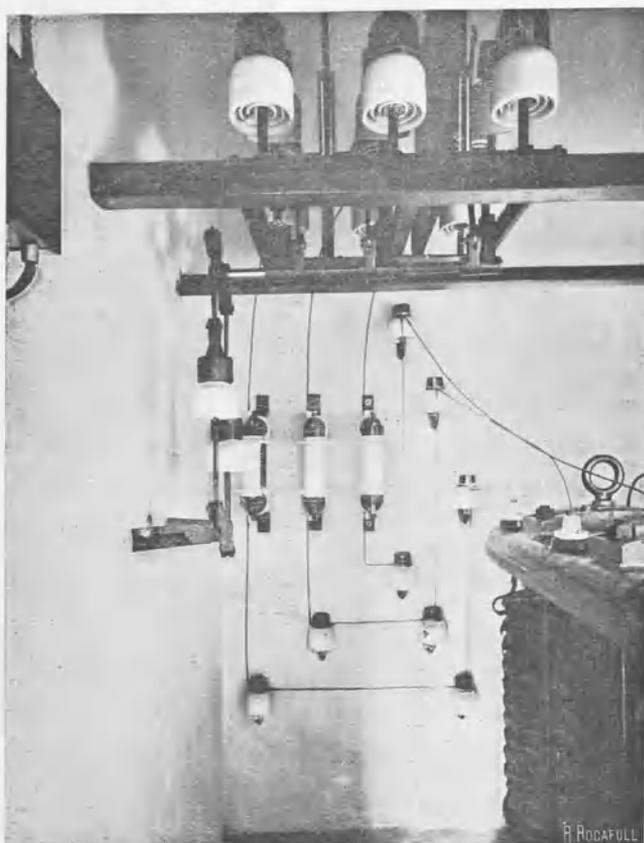
Elevación de aguas á Colmezar.—Grupo de bomba y motor.

de originar flechas exageradas que perjudican el buen aspecto de la línea puede dar lugar á corto-circuitos.

Para los empalmes de los cables se ha adoptado la *junta Britania* modificada, pues se han enlazado por soldadura las dos extremidades del cable, resultando así una junta Britania con puente. De esta manera la disminución de resistencia mecánica que el cobre duro sufre al soldarlo, no puede ser causa de rotura de la junta, toda vez que el empalme, propiamente dicho, no ha sido estañado y se conserva la conductibilidad necesaria por el puente.

*Medidas de seguridad.*— Tanto en los pasos de carreteras como de caminos frecuentados, se han reforzado los apoyos empleando postes gemelos y disminuyendo la luz de los vanos entre ellos comprendida.

En el cruce en ángulo recto de las calles de Fernando el Católico y Vallehermoso y en el comienzo de esta calle, ha sido indispensable colocar dos nuevos castilletes que sujetan dobles vientos necesarios á causa de los dos cambios bruscos de alineaciones. Este trazado fué exigido

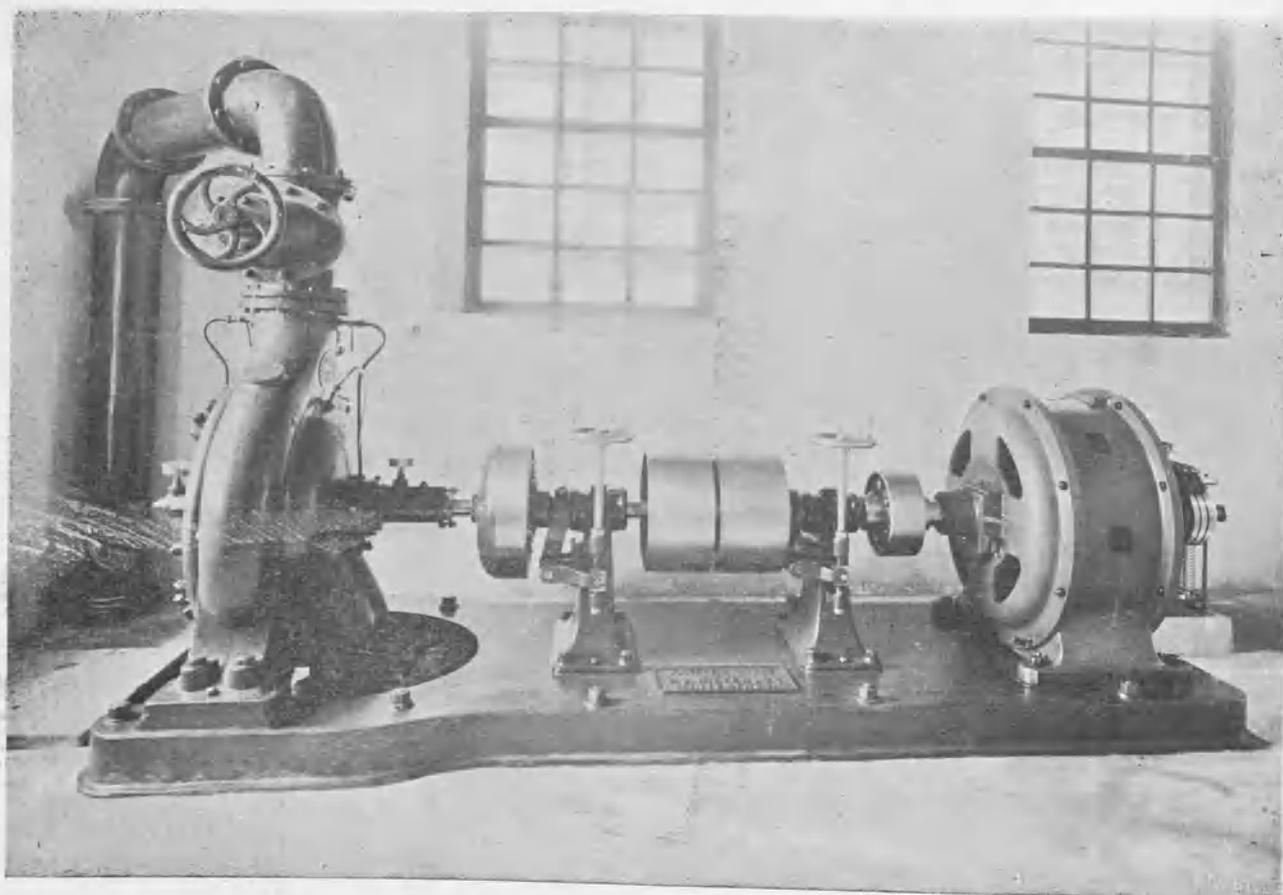


**Elevación de aguas á Colmenar.**—Transformador, fusibles é interruptor del motor.]

por el Ayuntamiento de Madrid.

Desde el comienzo de la calle de Vallehermoso hasta la Central de transformación se han extremado las medidas de protección contra los accidentes, pudiendo decirse que se han seguido todas las prescripciones aconsejadas por la práctica de este género de instalaciones. Los sólidos castilletes, empotrados en macizos de hormigón, y los robustos postes de madera, enterrados dos metros como minimum en este trozo, aseguran la estabilidad de los apoyos en el caso más desfavorable. Además, para evitar el peligro que pudiera ocasionar la caída de un hilo, se ha colocado una red de protección de 2<sup>m</sup>,50 de ancha, de alambre de 4 milímetros de diámetro y cuyas mallas, formadas por traveseros de 2 milímetros, son de tres metros; para dar rigidez á la red van de 20 en 20 metros traveseros formados por varillas de 8 milímetros. Las

dos extremidades de la red se han unido á placas de tierra y tanto los apoyos, como soportes y crucetas, se han enlazado con conductores especiales á la red. En los án-



**Elevación de aguas á Colmenar.**—Vista de la bomba con la tulería de aspiración.

gulos, unas varillas especiales de hierro retendrán el conductor en el caso imprevisto de que se separe del aislador. Los vientos que sujetan los postes de ángulo también están puestos á tierra.

### Línea de Colmenar Viejo.

La disposición adoptada es igual á la de la línea de Madrid, con la única diferencia de que, no tratándose de transportar por ella más que la fuerza necesaria para alimentar el motor trifásico de 75 caballos que acciona la bomba de elevación de agua de Colmenar, situada á 2 kilómetros de la casa de máquinas, el diámetro del hilo es sólo de tres milímetros.

A partir de aquí, y con objeto de transportar energía para el alumbrado de la población, se prolongan sólo dos hilos de la línea de alta tensión, en una longitud de 2 kilómetros, á la extremidad de la cual se han colocado los transformadores monofásicos que reducen la tensión, para alimentar la red de distribución del alumbrado de Colmenar Viejo.

### Descripción de las estaciones receptoras.

En la línea de Colmenar hay, como se ha dicho, dos estaciones receptoras, que son:

La de elevación de aguas á Colmenar Viejo, situada á 2 kilómetros de la Central y alimentada por corriente trifásica.

La estación transformadora para el alumbrado de Colmenar Viejo, situada á 5 kilómetros de la Central, y alimentada por corriente monofásica.

En la línea de Madrid, á 28 kilómetros de la Cen-

tral, se encuentra la tercera estación receptora, que es: La estación transformadora de Madrid, alimentada por corriente trifásica.

### Elevación de aguas á Colmenar Viejo.

Esta instalación comprende una bomba centrífuga de alta presión, que gasta 60 litros y eleva el agua á 63 metros, movida por un motor trifásico. Además, este motor accionará en su día un molino harinero que se está construyendo actualmente. La bomba podrá ser también accionada por una máquina de vapor, de reserva. Se ha estudiado una solución tal que resuelva los cuatro casos siguientes:

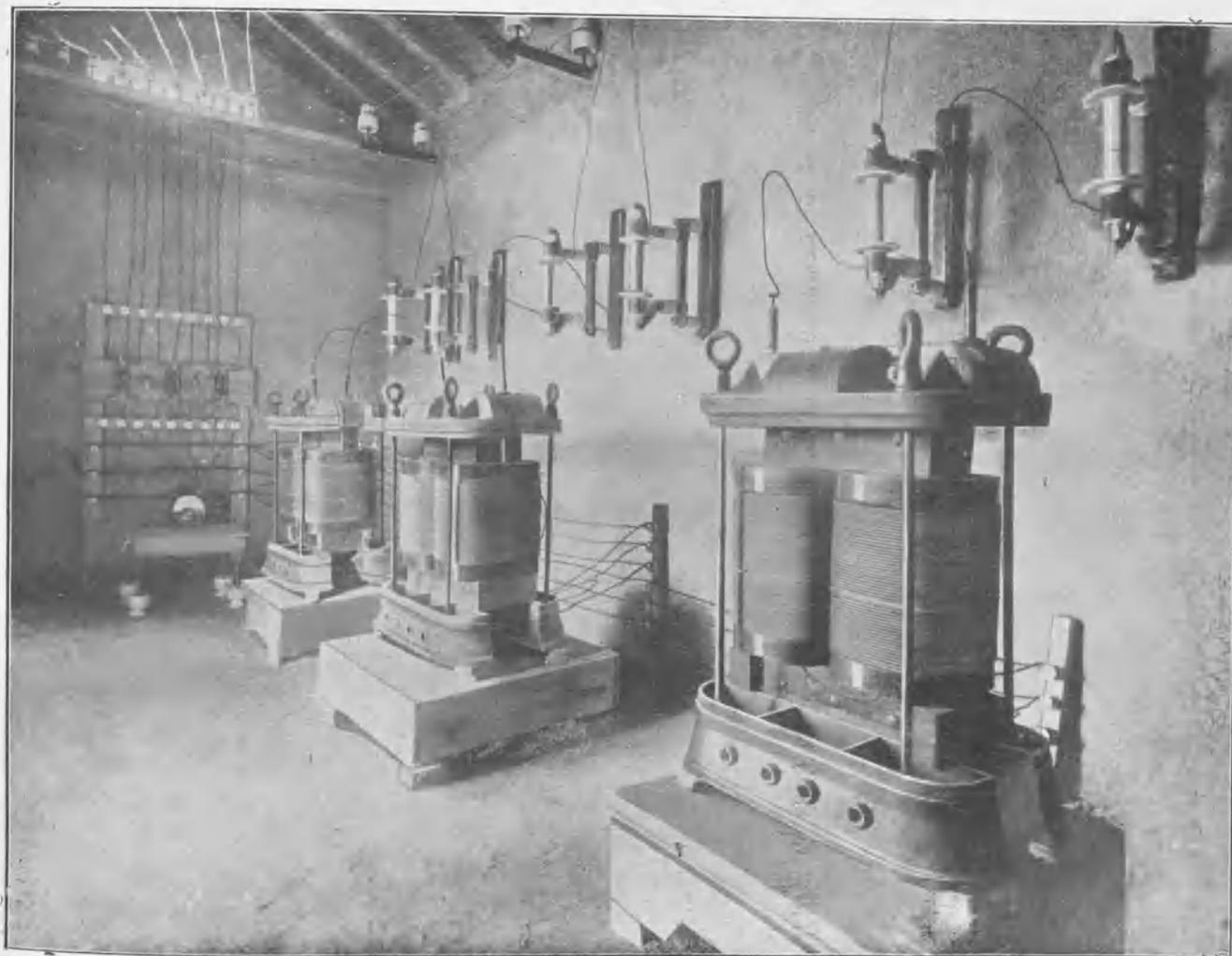
- 1.º El trabajo del motor se aplica todo él á la bomba.
- 2.º Se aplica á la transmisión del molino.
- 3.º Se hace trabajar el motor simultáneamente sobre la bomba y la transmisión del molino.
- 4.º Se acciona la bomba por la máquina de vapor.

Para ello, entre el motor y la bomba se han colocado dos apoyos sobre los cuales descansa un árbol que lleva un juego de poleas fijas y locas. Entre la bomba y uno de los apoyos se encuentra un acoplamiento Missong, permitiendo embragar y desembragar la bomba en marcha.

Entre el motor y el otro apoyo se encuentra un acoplamiento ordinario. El sistema de poleas tiene además una disposición de embrague, semejante al Missong que permite pasar fácilmente la correa de una á otra polea.

El motor, la bomba y los apoyos se encuentran montados sobre una placa general de fundición.

La corriente trifásica de alta tensión penetra en la sala de máquinas y después de pasar por tres pararrayos Siemens de alta, llega á un interruptor tripolar colocado dentro de



Estación transformadora para el alumbrado de Colmenar.

un local donde se hallan los fusibles de alta y el transformador reductor. Dicho interruptor puede ser manejado desde la sala de máquinas sin peligro alguno.

El transformador trifásico de 80 kilo-volti-amperios reduce la tensión de 15.000 á 350 voltios. El enrollamiento de cada núcleo comprende doce secciones.

El transformador alimenta un motor asíncrono trifásico de 75 H. P. de frecuencia 50, que da 975 vueltas por minuto con un voltaje de 350 voltios compuestos. Este motor está provisto de una resistencia para el arranque y de un aparato para colocar sus espiras en corto-circuito.

La estación receptora de elevación de aguas ha sido instalada por la casa Joh Jacob Rieter y Compañía de Wintertur, siendo la bomba centrífuga de la casa Sulzer.

de alta tensión, que protegen los tres transformadores.

Los circuitos trifilares de baja tensión, después de pasar por fusibles de baja, llegan á tres barras colectoras de donde parten tres circuitos de alimentación que son también trifilares y que están protegidos por tres pararrayos de baja. Estos tres circuitos de alimentación terminan en los tres centros de distribución del pueblo, situados uno junto al mercado, otro junto á la iglesia y el tercero en la calle de la Retama.

### Estación transformadora de Madrid.

A la entrada de Madrid, en el encuentro de las calles Ancha de San Bernardo y San Rafael, se ha colocado la es-



Estación transformadora de Madrid.—Vista general.

### Estación transformadora para el alumbrado de Colmenar Viejo.

La estación receptora situada á la entrada del pueblo, comprende tres transformadores monofásicos de 15, 10 y 10 Kw. que reducen la tensión de su circuito primario que es de 15.000 voltios á  $2 \times 120$  voltios. Los transformadores construidos por *La Industria Eléctrica* de Barcelona, son del mismo tipo que los de la Central, y sus datos respectivos son:

Transformador de 15 Kw.

Amperios primarios 1,4; secundarios, 62,5.

Transformador de 10 Kw.

Amperios primarios 0,7; secundarios, 41,6.

A la entrada de los dos hilos del transporte se encuentran dos pararrayos de alta, tipo Siemens y seis fusibles

tación transformadora en la que termina la línea de transporte de alta tensión.

Siete transformadores trifásicos reductores transforman la tensión de 13.500 á 3.600 voltios. Cada transformador de 225 kilo-volti-amperios está constituido por tres núcleos verticales dispuestos en un mismo plano y formados de palastros de 0,3 milímetros de espesor aislados porhojas de papel.

La disposición adoptada de emplear transformadores trifásicos en lugar de tres monofásicos, ya se ha dicho antes las ventajas é inconvenientes que presenta. Una vez decidido aquel tipo de transformadores, es preciso elegir entre los que tienen los tres ejes de los núcleos magnéticos, dispuestos en los tres vértices de un triángulo equilátero ó en el mismo plano. Teóricamente es mejor la primera disposición, puesto que la longitud de las líneas de fuerza es exactamente igual en las tres fases; pero en la práctica esto no

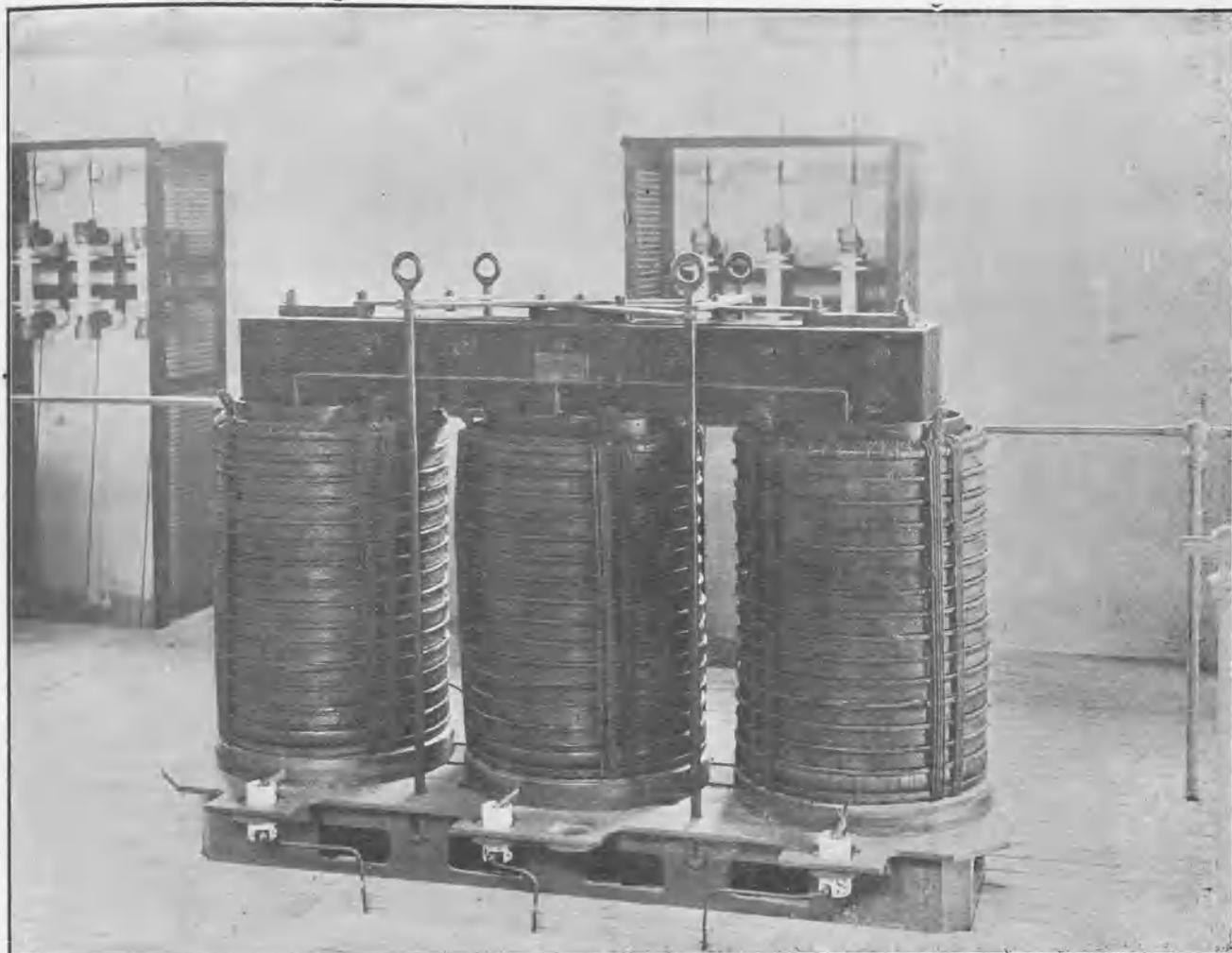
tiene importancia alguna, toda vez que la reluctancia del núcleo es insignificante comparada con la de las juntas y por tanto la falta de simetría, es decir, la desigual longitud de las líneas de fuerza en la segunda disposición, es insignificante; este tipo, que tiene la ventaja de ser algo más fácil de construir y ocupar menos espacio, es el empleado en la estación transformadora de Madrid.

El rendimiento de los transformadores es de 98 por 100 á plena carga y de 97 por 100 á media carga. La variación de tensión entre la plena carga y la marcha en vacío, es inferior á 3 por 100.

A la entrada de los hilos de alta tensión y para proteger la estación transformadora de las descargas atmosféricas, se han colocado tres pararrayos Siemens de tres cuernos cada

do la disposición que la *General Electric Company* emplea en muchas de sus instalaciones y que consiste en combinar varios de estos aparatos para elevar la tensión á partir de la cual funcionan, habiéndose colocado cinco juegos de pararrayos de 2.000 voltios, compuestos cada uno de cinco cilindros metálicos y dos resistencias de grafito en cada hilo de alta. El pararrayos empezará, pues, á funcionar en cuanto exceda de 10.000 voltios la diferencia de tensión entre un hilo y tierra.

La línea de transporte llega á una llave tripolar en la que una cremallera acciona tres vástagos que penetran en tres cilindros; al romper el circuito, la chispa que tendería á formarse en el interior de éstos, se extingue inmediatamente por el vacío así creado. Esta llave pone en comu-



**Transformador trifásico reductor.**

uno, enlazándose dos de éstos á cada dos hilos de alta y el tercero á tierra. Además se han colocado en cada hilo un grupo de cinco pararrayos Wirt. Por no ser muy conocido en España este tipo de pararrayos, se hará una descripción de él. Este aparato está basado lo mismo que el Wurts, en la propiedad que tienen el zinc y el antimonio de apagar el arco por efecto de la formación de óxidos no conductores. Consta de dos cilindros metálicos de 5 centímetros de diámetro y de 5 centímetros de altura, separados entre sí por un milímetro de aire; uno de éstos se enlaza á tierra y el otro á la línea, intercalando una resistencia, no inductiva, de 250 ohmios, constituida por una barra de grafito de 130 milímetros de longitud y de 200 mm<sup>2</sup> de sección. Cuando se produce la descarga, dicha resistencia evita el corto-circuito y la alternancia de la corriente produce la rotura del arco. En la estación transformadora de Madrid se ha adopta-

ción la línea de transporte con las tres barras colectoras de alta; de éstas se han tomado siete derivaciones que después de pasar por fusibles tripolares llegan á los transformadores. El secundario de cada uno de estos transformadores se enlaza con el cuadro correspondiente de baja, por cables situados debajo del entarimado. Cada cuadro se compone de tres fusibles para 3.600 voltios, un interruptor tripolar, y un amperímetro situado sobre uno de los hilos. Finalmente estas siete derivaciones terminan en tres barras colectoras de baja tensión, situadas á lo largo del muro opuesto al que sostiene las barras de alta. De estas barras arrancan por intermedio de cajas de enlace los cables trenzados trifásicos, que transportan la energía á los centros de consumo que á su vez la distribuyen en Madrid.

El material de esta estación de transformación es de los talleres de construcción de Oerlikon.

## Distribución de energía en Madrid

La energía transportada hasta la estación transformadora de Madrid, será desde aquí distribuida á los distintos centros de consumo, á medida que éstos la vayan solicitando y se dé mayor desarrollo á la instalación. Actualmente dos son las principales aplicaciones que tendrá esta fuerza en Madrid: la primera suministrar la energía necesaria para el alumbrado del Palacio Real, la segunda proporcionar fuerza á la Sociedad de Electricidad de Chamberí.

Como los centros de consumo que desean comprar esta energía en Madrid exigen recibirla en el cuadro de distribución de su instalación y recibirla desde luego en forma de corriente idéntica á la que hoy emplean, resulta muy interesante el estudio de determinar en cada caso el sistema de transformación más conveniente.

Entre los distintos sistemas de transformación que pudieran haberse empleado, se ha escogido para la instalación del Palacio Real el de motores trifásicos asíncronos, de frecuencia 50 y tensión de 3.200 acoplados á dinamos especiales que luego se describirán, y para la de la Central de Chamberí se hace también uso de grupos de motor-dinamo, pero los motores trifásicos, de igual frecuencia y tensión que los anteriores, son isócronos.

Para poder juzgar de las ventajas é inconvenientes que en estas aplicaciones presentan los sistemas de transformación adoptados, vamos á ver las propiedades que reúnen los tres sistemas de transformación de corriente hoy día más usuales, á saber: las *commutatrices*, los *motores asíncronos*

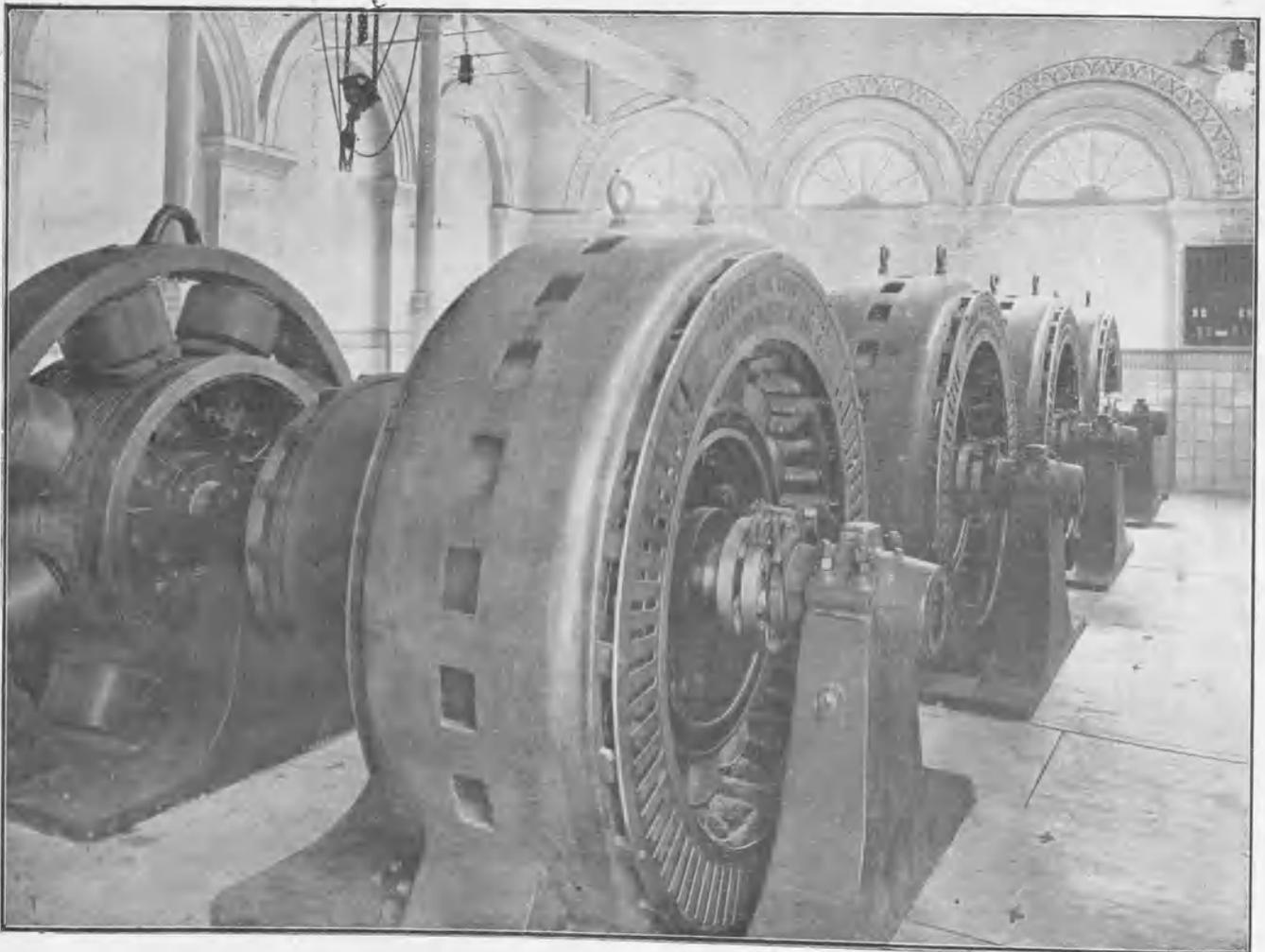
acoplados á dinamos y los *motores isócronos* acoplados á dinamos.

Desde luego, se ve que en las condiciones especiales de estas aplicaciones no están indicadas las *commutatrices*, toda vez que requieren una doble transformación, y pueden dar lugar á veces á fenómenos de resonancia en las líneas y á dificultades en la regulación.

Los *motores asíncronos* ó *eterócronos*, llamados también *motores de inducción*, son sin duda los más empleados en las distribuciones polifásicas, debiendo el gran éxito que en la actualidad tienen, en primer lugar á su estabilidad y á poseer un fuerte par motor en el arranque y además á su extraordinaria solidez y facilidad de construcción, siendo máquinas cuyo entretenimiento es insignificante y que no exigen un generador de corriente continua para su funcionamiento, toda vez que el circuito primario ejerce el doble papel de proporcionar corriente excitadora y motora.

Basta enumerar estas propiedades para comprender las inmensas ventajas que reúnen en las aplicaciones ordinarias de la distribución de fuerza, en la mayoría de las cuales las máquinas por una parte suelen ser manejadas por personas inexpertas y por otra se impone un fuerte par motor para arrancar en carga.

El gran inconveniente de estos motores es el retraso entre las fases de la corriente y la tensión á que dan origen, á causa de la auto-excitación y de la auto-inducción, si bien puede ser disminuída por una construcción conveniente,



Central de la Sociedad de Chamberí.—Vista de los cuatro grupos de motor isócrono-dinamo.

hasta el punto de obtener un factor de potencia de 80 á 90 por 100 trabajando con la carga normal.

Entre estos dos límites puede hacer variar el constructor el factor de potencia; puede obtenerse un aumento de este factor, pero es á espensas de la economía mecánica, adoptando un entrehierro muy pequeño que exige una construcción muy esmerada y apoyos rígidos para el árbol. Además, la necesidad de disminuir la auto-inducción del motor obliga á multiplicar el número de ranuras, y esta gran división es causa de que no puedan aplicarse á este tipo de motores tensiones tan elevadas como las de los motores isócronos; por otra parte, el aumento de conductores efectivos por ranura aumenta la auto-inducción y la dispersión, de la cual depende en gran parte la capacidad de sobre-carga.

En los motores asíncronos, un factor de potencia elevada trae consigo, en la mayoría de los casos, un rendimiento más débil. Este es el motivo de que al comparar las propiedades de este tipo de motores con las de los isócronos sea preciso considerar el rendimiento aparente, ó sea el producto del factor de potencia por el rendimiento.

Muy distintas son, respecto de este punto tan importante, las propiedades de los *motores isócronos*, puesto que basta aplicar á éstos una sobreexcitación conveniente para que produzcan un avance de la corriente tal, que pueda neutralizar el retraso debido á la auto-inducción de la línea, transformadores, etc. La excitación del campo determina la fuerza contra-electromotriz que puede regularse con la excitación, y habrá un valor de ésta tal, que la corriente en el inducido estará en perfecta concordancia de fase con la tensión. En estas condiciones, la corriente absorbida por el motor será mínima, y según que aumentemos ó disminuyamos la excitación se obtendrá un avance ó un retraso de la corriente sobre la diferencia de potencial aplicada al motor. Este efecto puede ser mantenido automáticamente entre

ciertos límites por el motor isócrono toda vez que la fuerza contra-electromotriz queda fija al no variar la excitación y, por tanto, al ocurrir por ejemplo una caída de tensión creciente ó una diferencia de potencial en los terminales decrecientes, el motor dará una componente de corriente en avance mayor.

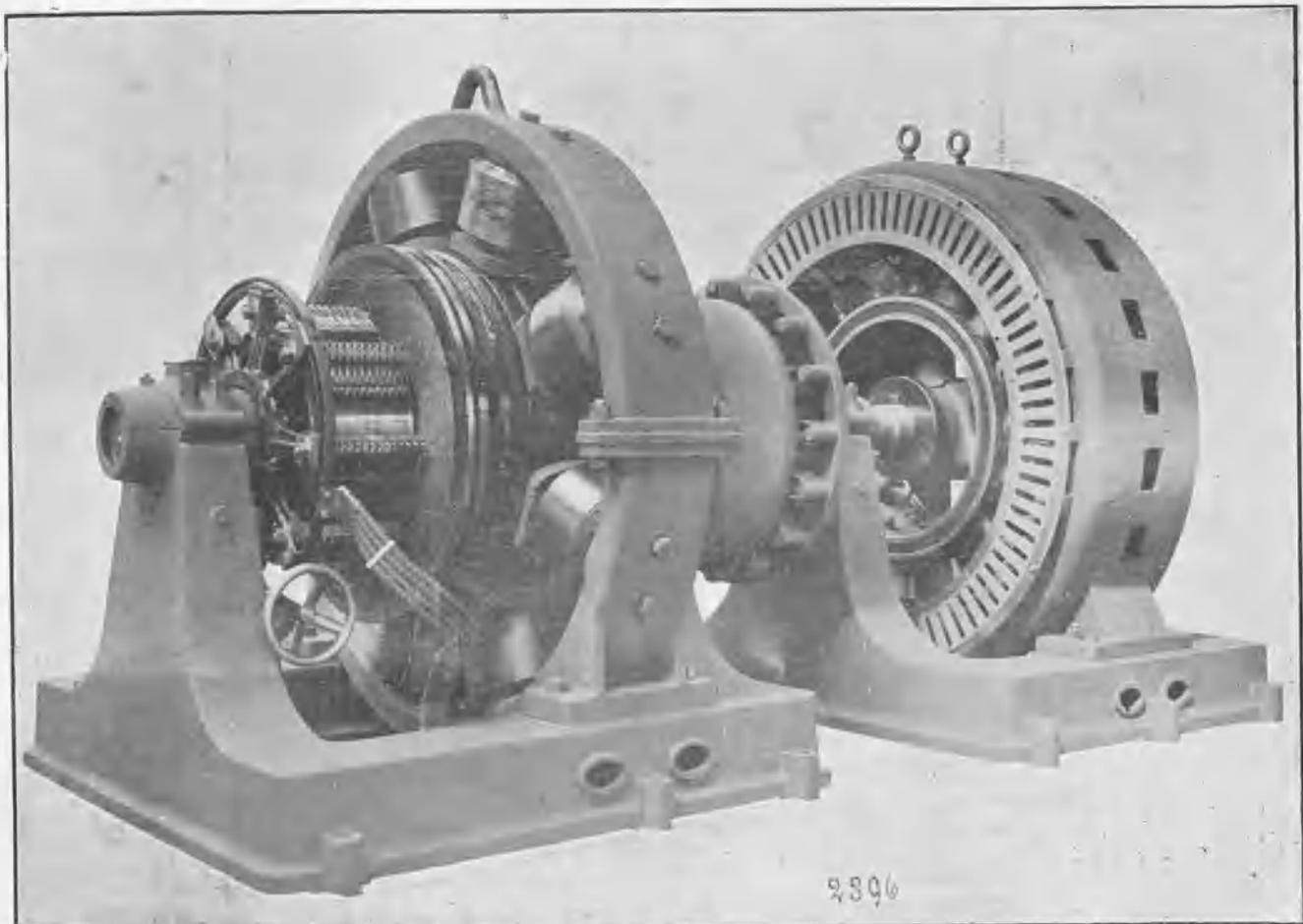
Resumiendo se ve que así como en los motores asíncronos el retraso de la corriente sobre la tensión depende de la carga, en los motores isócronos depende de la excitación y se puede, por una sobreexcitación conveniente del motor, obtener un mejor rendimiento de las máquinas, que trabajen así libres de las corrientes retrasadas. Para ver el efecto de dicho retraso, basta recordar que con un valor de  $\cos \varphi = 0,9$  por ejemplo, para tener la misma pérdida de potencia, es preciso aumentar el peso del cobre en la proporción

$$\frac{1}{\cos^2 \varphi} = 1,23,$$

próximamente una cuarta parte más que si no existiese dicho retraso. El simple enunciado de esta propiedad de los motores isócronos es suficiente para comprender la inmensa ventaja que se obtiene al disponer de este tipo de motores en la extremidad de una línea de cerca de 30 kilómetros de longitud.

Otra de sus propiedades características es la constancia perfecta de la velocidad, no produciéndose ningún deslizamiento al aumentar la carga; además tienen un rendimiento más favorable, sobre todo para un débil número de vueltas y una débil carga. Su capacidad de sobrecarga puede variar del simple al triple ó cuádruple si es indispensable, mientras que los motores asíncronos que se construyesen para tales sobrecargas tendrían un factor de potencia muy pequeño.

Es verdad que estos motores no arrancan bajo fuertes cargas; pero no es menos cierto que se les puede construir para arrancar en vacío y aún con fuertes cargas, como los



Grupo de motor isócrono trifásico y dinamo de la Central de Chamberí.

motores isócronos de la *General Electric C.<sup>o</sup>*, que arrancan con el 60 por 100 de su potencia normal.

Se deduce de todo lo expuesto que el empleo de los motores isócronos en la Central de Chamberí originará un mejor rendimiento de la instalación. En cambio, ha de presentar alguna mayor dificultad en la puesta en marcha, si bien se dispone de una batería de acumuladores y de un motor eterócrono, además de poseer un personal escogido; la dificultad que puede originarse por caer de fase los motores isócronos á causa de las descargas atmosféricas en la línea, no es de creer que sea grande puesto que el accidente ha de ser poco frecuente y sin importancia.

Una vez adoptado aquel tipo de motores para la instalación de Chamberí, se han elegido motores asíneronos para la Central hidro-eléctrica del Palacio Real; con esta disposición de utilizar motores isócronos y asíneronos, resulta que se puede elevar el factor de potencia del sistema á 95 y 100 por 100, ventaja cuya gran importancia en este caso se acaba de analizar.

### Central hidro-eléctrica del Palacio Real de Madrid.

Como ya se ha dicho anteriormente, la Central hidro-eléctrica del Palacio Real, que recibirá la energía transportada desde Colmenar, está hoy día en construcción; así, pues, sólo se hará de ella una ligera reseña.

*Línea.*—Los cables que enlazan la estación transformadora con la Central hidro-eléctrica de Palacio son trifásicos de  $3 \times 75 \text{ mm}^2$  cada uno, aislados y protegidos por envoltente de plomo y cinta de hierro. Su longitud es de unos 2.000 metros.

El espesor del dieléctrico será de 8 mm entre dos conduc-

tores, y de 7,5 mm entre cada conductor y el plomo, siendo el espesor de la envoltente de plomo de 3,3 mm y de 12,1 mm el de la envoltente de hierro. Los tres conductores de  $75 \text{ mm}^2$  serán de cobre electrolítico puro.

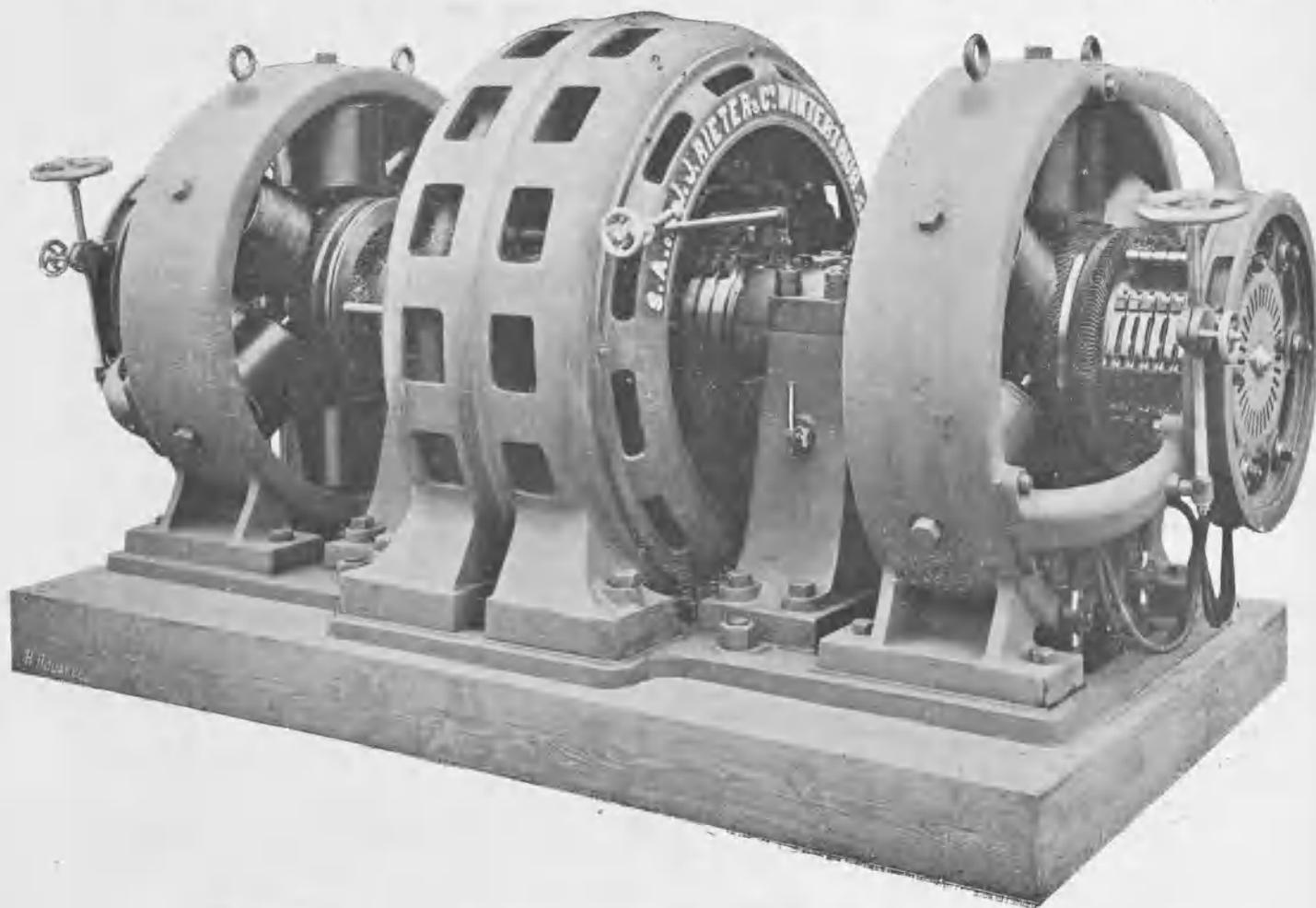
La casa Pirelli & C.<sup>a</sup>, que es la que ha suministrado este material lo ha garantizado para una tensión de trabajo de 3.600 voltios, pero pudiendo trabajar un día entero á 12.000 voltios sin deterioro alguno; la resistencia de aislamiento de este cable será de 10.000 megohmios por kilómetro, probándolo con una tensión alterna de 500 voltios, debiendo mantenerse constante dicho aislamiento durante el plazo de garantía de un año.

*Central.*—El objeto de la Central hidro-eléctrica del Palacio Real es reemplazar á la Central que hoy existe, compuesta de tres grupos de máquinas de corriente continua de 150 caballos cada una, accionadas por máquinas de vapor. La instalación posee también una batería de acumuladores. Su línea de distribución es trifilar.

Como el empleo de corriente alterna en los cables concéntricos que en la actualidad tiene, daría lugar á fenómenos de resonancia, es preciso que la energía á su llegada sea transformada bajo forma de corriente continua. El sistema empleado para la transformación es el de motor y dinamo y la Central estará constituida por tres grupos de 100 Kw cada uno.

Cada grupo se compone de un motor trifásico asíncrono, construido para una frecuencia de 50 períodos por segundo y una tensión variable entre 3.200 y 3.500 voltios compuestos.

La dinamo especial, acoplada directamente al motor es, en realidad, una doble máquina de corriente continua, con dos colectores, pudiéndose obtener en cada uno de ellos, é independientemente del otro, una tensión variable entre 120



Grupo de motor trifásico asíncrono y dinamo de la Central del Palacio Real de Madrid.

y 180 voltios; la potencia de cada grupo en marcha normal de 590 vueltas por minuto, será de 100 Kw medidos en corriente continua de 140 voltios y recibiendo el motor la corriente trifásica á 3.200 voltios.

El grupo transformador irá acompañado de la resistencia de puesta en marcha y de las de excitación, de un interruptor tripolar de alta tensión, con corta circuito, que pueda maniobrarse á plena carga, y de dos amperímetros, dos volímetros, dos interruptores bipolares, dos corta circuitos y un conmutador bipolar en la corriente continua.

Todo este material lo ha suministrado la casa Joh Jacob Rieter y Compañía, de Winterthur, que ha garantizado para cada grupo un rendimiento industrial superior á 86 por 100 á plena carga, 82 por 100 á media carga y 75 por 100 á cuarto de carga, no elevándose la temperatura á más de 45 grados centígrados sobre la ambiente después de diez horas de trabajo á plena carga.

### Central hidro eléctrica de la Sociedad de Electricidad de Chamberí.

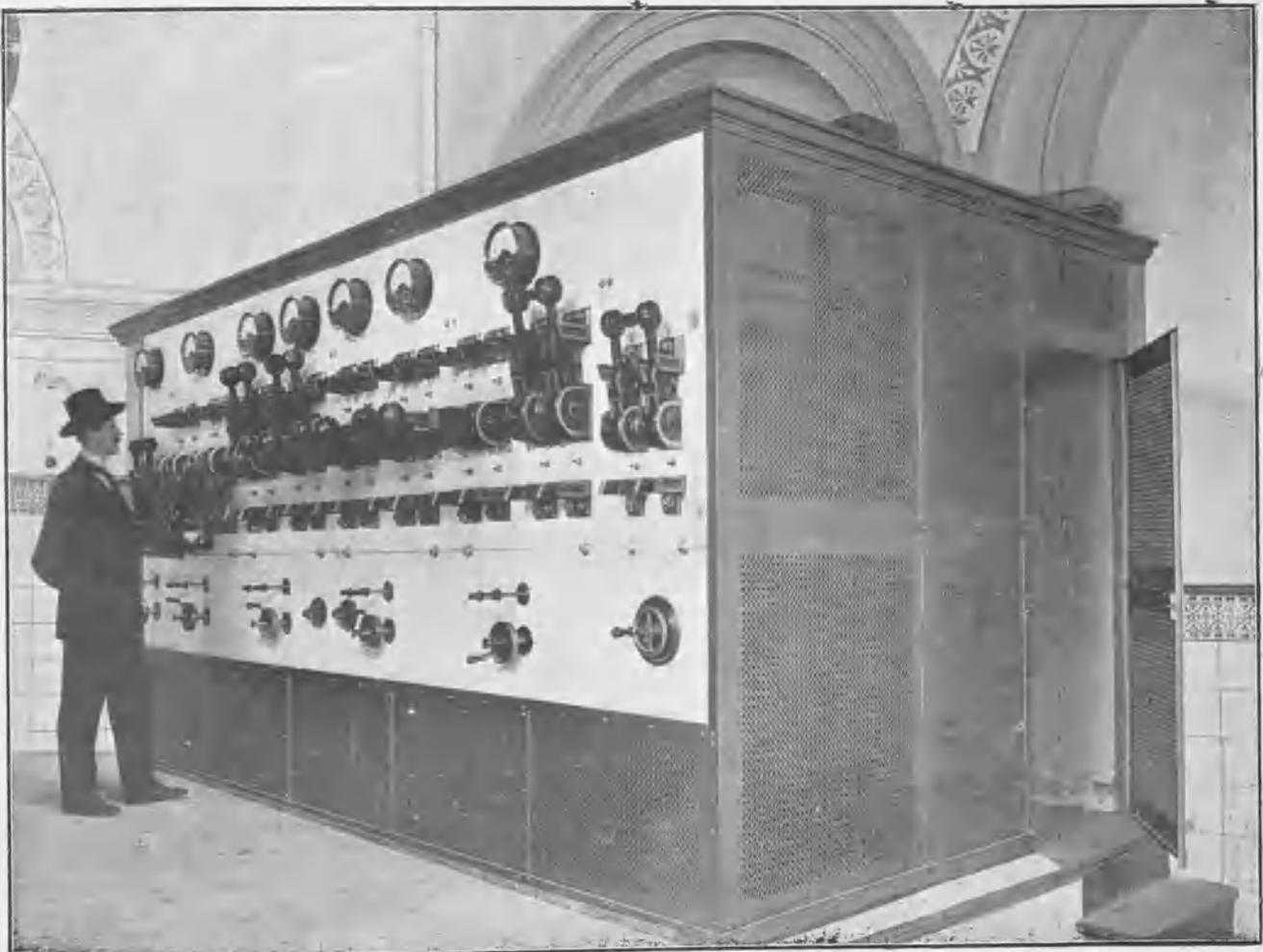
*Línea.*—Los dos cables que transportan la energía desde la estación transformadora á la Central de Chamberí van subterráneos y son del mismo tipo que los anteriormente descritos al tratar de la distribución de fuerza al Palacio Real. Cada cable está compuesto de tres conductores trenzados, aislados como aquéllos por envoltorio de plomo y cinta de hierro. Los tres conductores son de cobre electrolítico de  $3 \times 175$  mm<sup>2</sup>; el diámetro del cilindro de plomo es de 61 milímetros, el diámetro del cable 77 milímetros, y su peso por metro lineal 20,75 kilogramos. La casa Pirelli & C.<sup>a</sup> ha dado las mismas garantías de aislamiento y límite de tensiones que para los cables del transporte al Palacio Real.

*Central.*—La transformación de la corriente trifásica de 3.500 voltios en continua, se hace por intermedio de cuatro grupos de motor isócrono-dinamo, para el arranque de los cuales hay un quinto grupo de motor asíncrono-dinamo; la corriente continua recogida puede ser á voluntad de 260 ó  $2 \times 260$  voltios. Cada uno de los grupos isócronos se compone de un motor de este tipo, alimentado por corriente trifásica de 3.500 voltios y 50 períodos por segundo, enlazado directamente por medio de un manguito aislante y elástico á una dinamo de corriente continua enrollada en derivación; la velocidad normal es de 375 revoluciones por minuto y el gasto de esta última será de 500 caballos ó sea 368 Kw; la tensión de la corriente continua es de 260 á 280 voltios y la intensidad de la misma 1.315 amperios.

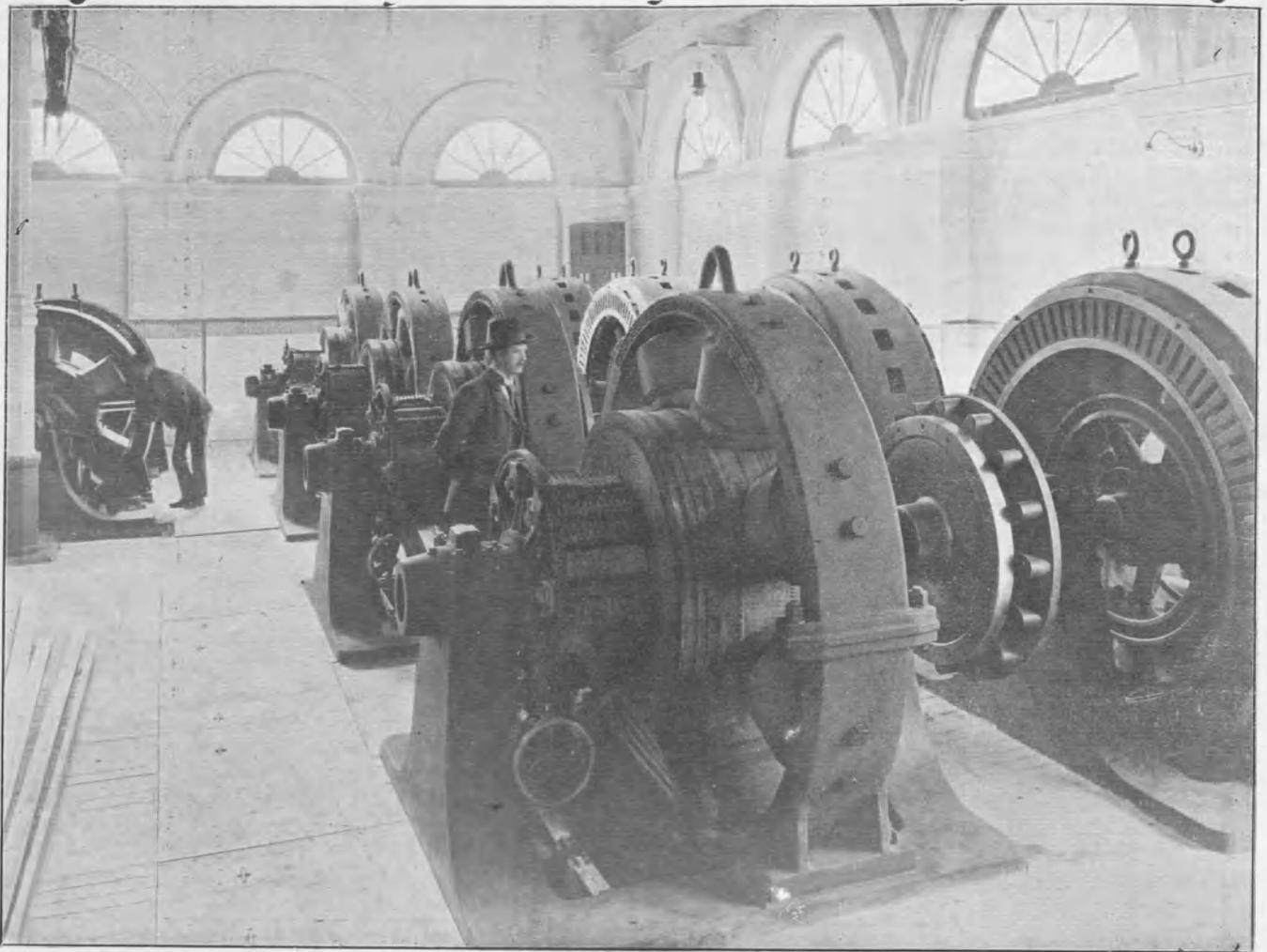
El grupo de transformador rotativo, compuesto de motor asíncrono y dinamo, da 370 vueltas y su gasto es de 230 Kw. Las tensiones de las corrientes trifásica y continua son como en los motores isócronos de 3.500 y 260 á 280 voltios respectivamente. La intensidad de la corriente continua será de 820 amperios.

Estas máquinas se apoyan sobre una placa de fundición y dos soportes con engrase automático. Las dinamos de corriente continua llevan escobillas de carbón; las de los motores isócronos son también de carbón y de cobre las escobillas de los asíncronos, pudiendo ser levantadas después de la puesta en marcha. Las máquinas de corriente trifásica se han construido para  $\cos \varphi = 0,90$ .

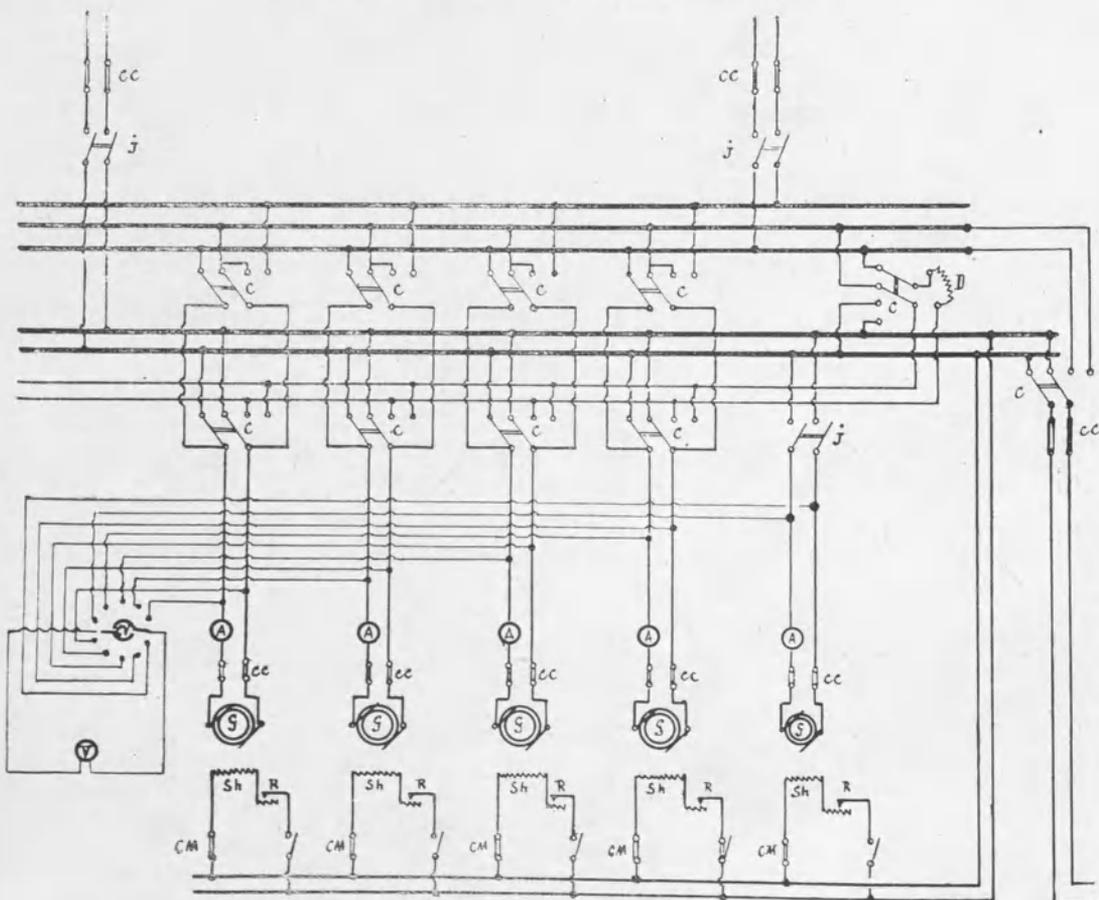
Los dos cables de alimentación subterráneos, después de pasar por dos llaves tripolares, llegan á tres barras colectoras que corren detrás del cuadro de distribución de alta. (Véase el diagrama de las conexiones.) De éstas barras se han derivado los cuatro motores isócronos habiéndose intercalado una llave tripolar y tres fusibles; un amperímetro



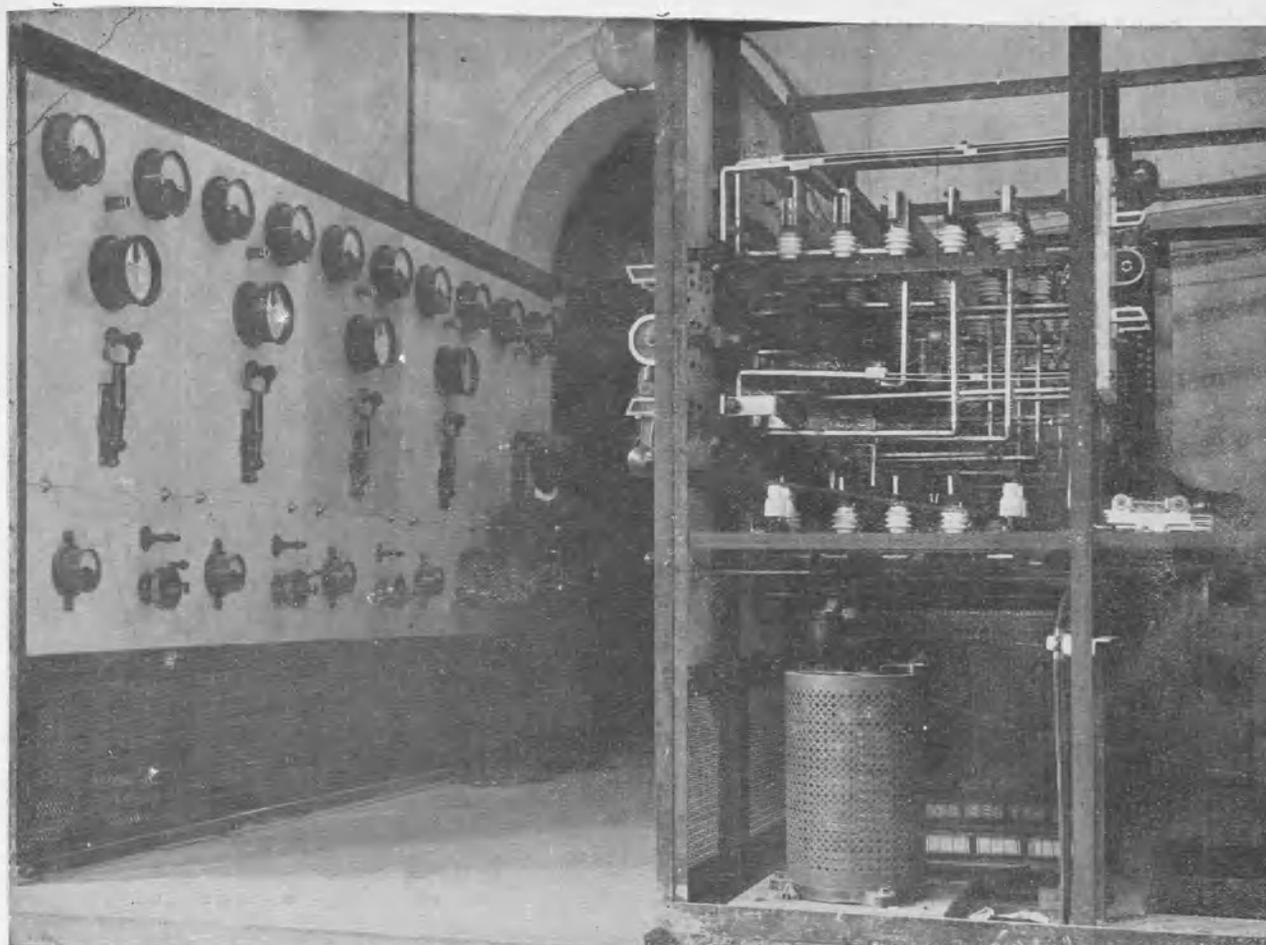
C. H.—Cuadro de distribución para la corriente continua.



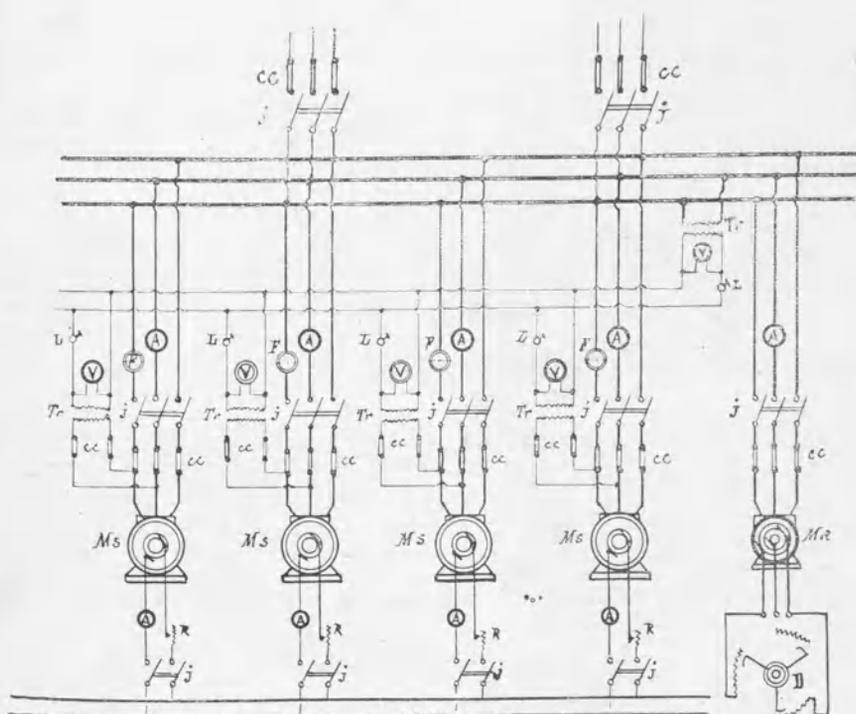
Central de la Sociedad de Chamberí.—Vista general.



Central de Chamberí.—Diagrama de las conexiones.



C. H.—Cuadro [de distribución.—Exterior del] de la corriente trifásica é interior del de la corriente continua.



Central de Chamberí.—Diagrama de las conexiones.

- Cc . . . . . Corta-circuitos generales.
- J . . . . . Interruptor general.
- A . . . . . Amperímetro de alta tensión.
- F . . . . . Fasímetro.
- I . . . . . Interruptor tripolar.
- Cc . . . . . Corta-circuito.
- Tr . . . . . Transformador reductor.
- V . . . . . Voltímetro.
- L . . . . . Lámparas de puesta en fase.
- Ms . . . . . Motores isócronos.
- Ma . . . . . Motor eterócrono.
- Dc . . . . . Resistencia de puesta en marcha.
- A . . . . . Amperímetro de corriente continua.
- R . . . . . Resistencia.
- J . . . . . Interruptor tripolar.
- G . . . . . Generadores de corriente continua.
- Sh . . . . . Excitación.
- R . . . . . Reostato.
- DV . . . . . Voltímetro de corriente continua.
- CV . . . . . Conmutador del voltímetro.

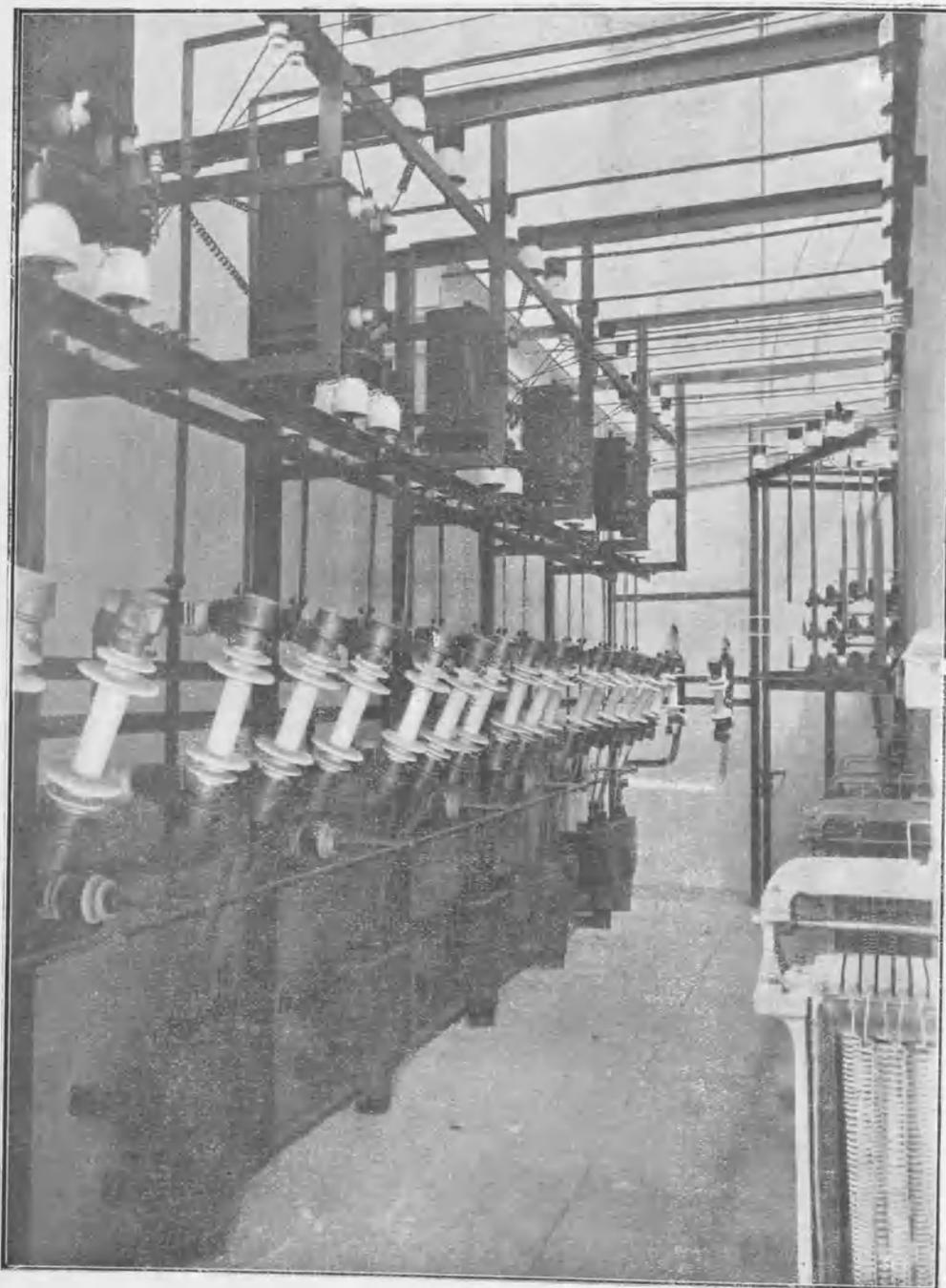
**ADVERTENCIA**

A causa de las dimensiones del diagrama de las conexiones, se ha dividido este en dos partes. Para la cabal inteligencia de las dos figuras, téngase presente que las dos barras colectoras horizontales situadas en la parte inferior del dibujo de la derecha son prolongación de las dos verticales de la figura de la izquierda.

indica el gasto de corriente de una de las fases. Además se ha hecho una derivación de dos de los hilos de alta de los motores isócronos con objeto de alimentar el primario de un transformador de medida protegido por dos fusibles; el secundario termina en dos barbas colectoras y se han intercalado el voltímetro y los fasímetros necesarios para su funcionamiento.

Esta es la disposición de la instalación en todo lo referente á corriente alterna.

Todo el material de la Central hidro-eléctrica de la Sociedad de Chamberí ha sido fabricado por la casa Oerlikon así como el de la Estación transformadora de Madrid, pues es la que presentó condiciones más ventajosas toda vez que garantizó un rendimiento total (incluyendo la estación transformadora) de 90 por 100 á plena carga para el grupo de 368 Kw., y de 85 á media carga; para el grupo de 230 Kw. un rendimiento de 88 por 100 á plena carga, y 82 por 100 á media. La elevación de temperatura sobre la ambiente ha-



**C. H.—Interior del cuadro de distribución de la corriente trifásica.**

La corriente continua engendrada por los dinamos acoplados á los motores puede ser recogida á 260 ó á  $2 \times 260$ , según la posición de los conmutadores pudiendo, pues, servir tanto para las distribuciones trifilares de luz como para las aplicaciones á la tracción. Una parte de la corriente continua así engendrada se ha derivado para la excitación de los motores isócronos. Finalmente un conmutador permite derivar el voltímetro entre los terminales de cada uno de los cinco generadores de corriente continua, señalando el gasto de éstos cinco amperímetros.

bía de ser inferior á 45° centígrados, y la sobre carga que podrían sufrir las máquinas de 25 por 100 durante dos horas elevándose entonces algo más la temperatura; finalmente la tensión de prueba fijada fué doble de la normal.



## Ensayos del material de la Central de Colmenar

Al empezar la descripción de la Central de Colmenar Viejo ya se ha dicho que el motivo que decidió la elección en favor de *La Industria Eléctrica*, fué en primer término debido á las garantías ofrecidas por dicha casa respecto á las condiciones de funcionamiento de sus máquinas; así, pues se llevaron á cabo las pruebas de recepción con excepcional escrupulosidad asistiendo á ellas los ingenieros de la instalación, el ingeniero jefe de *La Industria Eléctrica*, el ingeniero director de la casa Escher Wyss y el que estas líneas escribe.

**Aparatos.**—Se empezó por corregir los aparatos de medida del cuadro de distribución, que iban á ser empleados en los ensayos, con dos amperímetros y un voltímetro de precisión. En la comprobación de los amperímetros de excitación, se pudo observar que los núcleos móviles, de hierro no bastante dulce, toman por efecto de la histerésis posiciones distintas para valores iguales de la intensidad de excitación, según que el estado anterior de la misma haya sido mayor ó menor. Esto obligó á trazar dos curvas distintas de error; una para valores crecientes de la intensidad y otra para decrecientes.

### Rendimiento de cada grupo hidro-eléctrico

En este ensayo se determinó el rendimiento combinado de la turbina y el alternador ó sea la relación entre la potencia mecánica aplicada á la primera y la energía eléctrica recogida en los terminales del alternador.

La primera se obtuvo multiplicando el desnivel total en metros entre el agua del canal y el río, por los litros de agua gastados por todos conceptos, descontando de este producto los kilogrametros perdidos en la tubería de bajada hasta su empalme con la general de turbinas, pero no las pérdidas en la tubería de las turbinas, llaves, regulador, etc. Para medir el gasto de agua se dispuso un vertedero en pared delgada en el canal de desagüe de las turbinas, de 3,020 de longitud y una altura de 0,015, sobre un muro inclinado en sentido contrario de la corriente, de 0,1 de base y 0,65 de altura respecto de la solera del indicado canal de desagüe. El aire entraba libremente bajo la lámina de agua vertiente.

Es muy importante en la práctica la determinación precisa de todas las condiciones en las que se va á realizar las experiencias y aun de las fórmulas que se van á admitir para el cálculo del gasto de agua, pues en estas pruebas se pudo observar que aun limitándose á las fórmulas más usuales, había diferencias de más de un 3 por 100 en el rendimiento deducido, según que se aplicasen unas ú otras.

La energía eléctrica suministrada por el alternador se midió, determinando las intensidades en cada una de las fases y las diferencias de potencial entre ellas con cargas sensiblemente iguales; la energía se absorbía en tres resistencias líquidas.

He aquí los resultados obtenidos en uno de los grupos de 500 H. P. aplicando para el gasto del vertedero la fórmula de Wex, y trabajando sin el regulador de velocidad.

	Plena carga.	Media carga.	Cuarto de carga.
Caida neta en metros. . . . .	93,40	91,49	94,74
Potencia hidráulica absoluta en caballos. . . . .	662	392	206
Potencia de los alternadores en Kw. . . . .	336,28	195,71	85,40
Rendimiento total del grupo. . . . .	75,1	73,6	59

Los rendimientos obtenidos funcionando con el regulador de velocidad son 74,1, 70,5 y 62 respectivamente á plena, media y cuarto de carga.

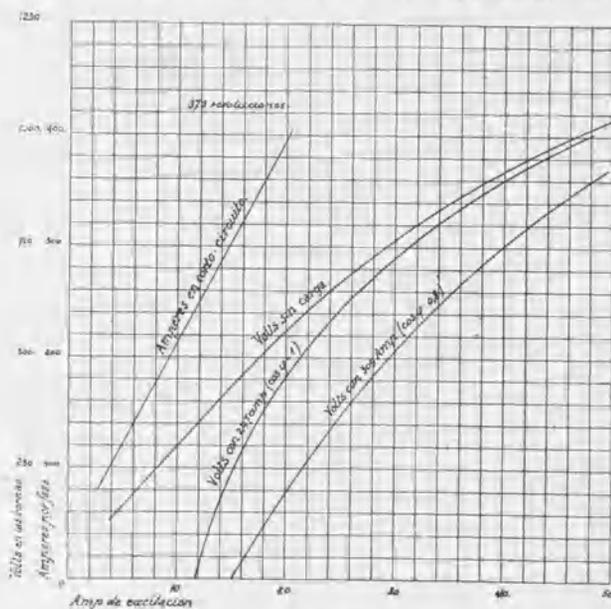
### Rendimiento de las turbinas

Se ha obtenido separando del rendimiento total, el del alternador que después se indicará como se determinó. Los resultados encontrados son 80, 81,5 y 69 por 100 á plena carga, media y cuarto respectivamente. Es preciso hacer una observación importante y es que se ha tenido en cuenta el desnivel total hasta aguas abajo (descontando sólo la pérdida en la tubería), mientras que las turbinas no utilizan más que una parte de la caída de aspiración puesto que deben desaguar en un espacio libre, de donde resulta una pérdida de 1 á 2 metros. Si se quisiera tener ésta en cuenta, es decir, si se hubiese determinado la caída neta sumando las alturas indicadas por el manómetro y el vacúmetro, resultaría como consecuencia un aumento de rendimiento 1 1/2 á 2 1/2 por 100 sobre los antes indicados.

### Ensayos de los alternadores

**Alternador de 500 H. P.—Característica en vacío.**—Se han medido los amperios de excitación y los voltios combinados en los terminales del alternador, reduciéndolos á la velocidad normal de 375 revoluciones. Con los resultados encontrados se ha dibujado la curva *Volts sin carga*.

**Característica con carga y  $\cos \varphi=1$ .**—Se ha hecho uso de una resistencia líquida graduable con objeto de mantener la corriente constante en sus tres fases é igual á 247 ampe-



Alternadores de 500 HP.—Características.

rios que es la carga máxima para  $\cos \varphi=1$ . La curva *Volts con 247 amp. ( $\cos \varphi=1$ )* indica la variación del voltaje en función de la corriente excitadora.

Las dos curvas halladas indican cuál es la caída de tensión del alternador trabajando á plena carga con un circuito sin reactancia; se ve en efecto que la excitación necesaria para que la máquina dé la tensión normal de 800 voltios en estas condiciones es de 33,8 y la característica en vacío enseña que los voltios correspondientes á la misma excitación sin carga son 880. La caída de tensión es, pues, de 30 voltios ó sea 3,61 por 100.

**Característica del alternador con carga y  $\cos \varphi=0,8$ .**—Con objeto de obtener fácilmente una resistencia con reactancia variable y poder así retrasar á voluntad la corriente sobre la tensión graduando el valor de  $\cos \varphi$ , se hizo trabajar el

motor no sólo sobre la resistencia líquida, sino también simultáneamente sobre un segundo alternador que funcionaba como motor isócrono, bastando por tanto variar su excitación para obtener distintos valores de  $\cos \varphi$ . Como este motor gira sin carga y separado de su turbina, no utiliza más que muy poca energía, comparada con la energía aparente que indica el voltímetro y amperímetro; puede pues, admitirse sin error sensible, que la corriente que absorbe es completamente decalada.

Se ha dibujado la característica correspondiente a  $\frac{247}{0,8} = 309$  amperios ( $\cos \varphi = 0,8$ ). Dicha curva indica que para la carga normal de 800 voltios y  $\cos \varphi = 0,8$  se necesitan 42,8 amperios de excitación, dando una variación de voltaje respecto á la marcha sin carga de 152 voltios, ó sea el 15 por 100.

**Característica en corto-circuito.**—También se ha obtenido esta curva en la que las abscisas son los amperios de excitación y las ordenadas los amperios en cada fase.

### Rendimiento del alternador.

Para determinar el rendimiento de los alternadores se han obtenido las

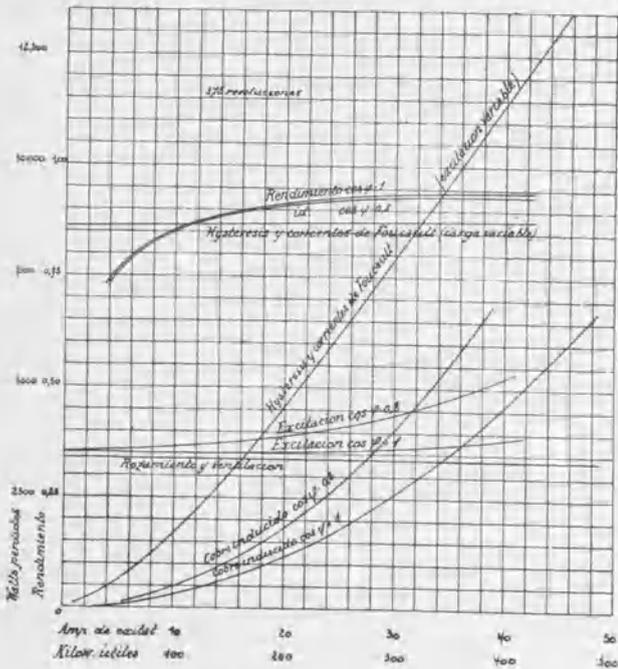
**Pérdidas por excitación.**

- \* en el cobre inducido.
- \* por rozamiento y ventilación.
- \* por histéresis y corriente Foucault.
- \* en el núcleo inducido.
- \* en la excitatriz.

**Pérdidas por excitación.**—Se han determinado midiéndolas por la intensidad de excitación y la resistencia óhmica del arrollamiento inductor, que es de 1,29 ohmios á 30°, teniendo también en cuenta aproximadamente las resistencias de regulación intercaladas.

**Pérdidas en el cobre inducido.**—Las pérdidas en el cobre inducido son los valores de  $3 R I^2$ , en la que R es resistencia del inducido á 50° (0,0185 ohmios). Las abscisas de la curva representan la potencia útil del alternador.

**Pérdidas por ventilación y rozamiento.**—Para hallar los



valores de éstas, se ha hecho marchar el alternador sin excitarlo, valiéndose de la excitatriz que actuaba como motor, á la velocidad normal de 375 revoluciones por minuto. La potencia absorbida por la excitatriz, deducción hecha de sus propias pérdidas que se determinan después, son los valores buscados.

**Pérdidas por histéresis y corriente Foucault.**—Son las más importantes y se han determinado de igual manera que las anteriores, con la sola diferencia de excitar el alternador. En esta prueba, se tropezó con la dificultad de que la potencia de la excitatriz no era suficiente para permitir verificar este ensayo á la excitación normal y hubo necesidad de equilibrar una parte conocida ya de las pérdidas por medio de la turbina, dejando el distribuidor de la misma abierto una cantidad constante durante la continuación del ensayo, y la otra parte desconocida determinarla como anteriormente, restando de la potencia absorbida por la excitatriz, sus propias pérdidas.

**Pérdidas en la excitatriz.**—Se ha seguido la misma marcha que con el alternador, fijando en función de la resistencia y corriente las pérdidas óhmicas en la excitación de la excitatriz, y en su inducido y, por último, las debidas á la histéresis y corriente Foucault en su núcleo inducido.

**Rendimiento del alternador.**—Bastará, finalmente, dividir la potencia útil por la suma de dicha potencia y de todas las pérdidas halladas para tener el rendimiento del alternador en cada caso.

Los resultados obtenidos en un alternador de 500 HP, son:

	Plena carga.	3/4 de carga.	1/2 de carga.	1/4 de carga.
Rendimientos $\cos \varphi = 1$	91,4	93,3	90,8	88,7
por 100..... $\cos \varphi = 0,8$	93,7	92,7	90,4	89,5

Las temperaturas halladas después de una marcha de veinticuatro horas á plena carga, con intensidad correspondiente á  $\cos \varphi = 0,8$ , son:

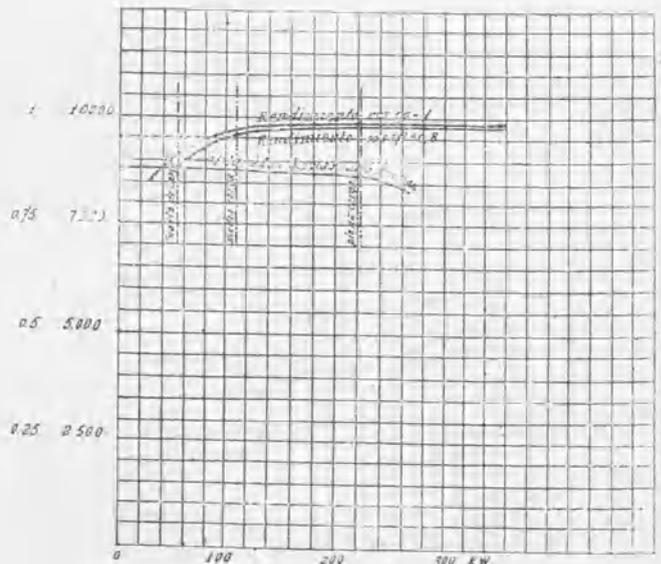
- Hierro inducido..... = 46° centígrados.
- Cobre inducido..... = 38° "
- Inductor..... = 32° "
- Aceite de los soportes..... = 35° "
- Ambiente..... = 12° "

La progresión de temperaturas de la curva indica que se llegó á la normal después de una marcha de once horas.

### Ensayos de los transformadores.

**Ensayo de rendimiento y caída de tensión.**—Para verificar estos ensayos, y con objeto de que la corriente absorbida por la resistencia líquida sea de baja tensión, se hizo uso de dos transformadores iguales, con los dos arrollamientos

Transformador 280 KVA

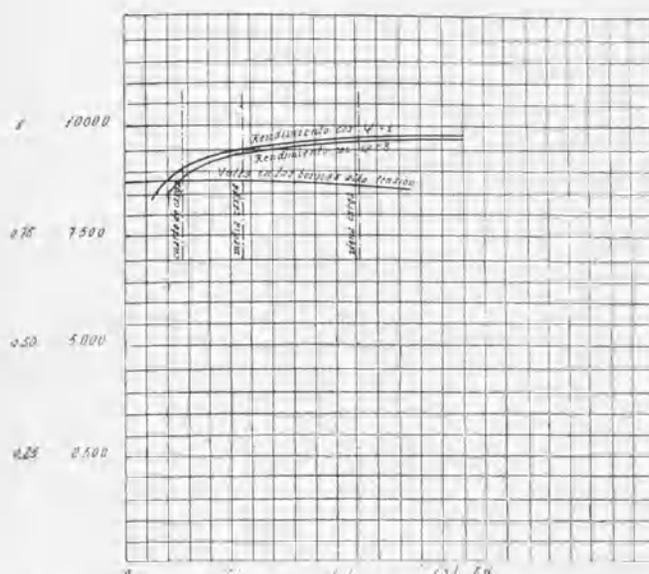


de alta tensión en serie, y enlazando la baja tensión del segundo á la resistencia.

Para la determinación del rendimiento se han colocado dos vatímetros, uno en el primario del primer transformador y otro en el secundario del mismo. La relación entre ambas lecturas da el rendimiento total de los dos transformadores y la raíz cuadrada de esta cifra, el de un transformador. Se han hecho pruebas en circuitos sin reactancia ( $\cos \varphi = 1$ ) y con ella ( $\cos \varphi = 0,8$ ).

La caída de tensión se ha fijado por diferencia entre las lecturas de dos voltímetros colocados en el primario del pri-

*Transformador 140 KVA*



mer transformador y el secundario del segundo. Bastará tomar la mitad de dicha cifra para tener la caída de tensión en un transformador.

Los ensayos de calentamiento se han hecho durante quince horas y media, con la intensidad correspondiente á la plena carga y  $\cos \varphi = 0,8$ .

**Ensayos de aislamiento.**

Se han ejecutado con un megóhmetro de magneto de 500 voltios. Se han verificado las siguientes mediciones:

1.<sup>a</sup> Entre todos los primarios de los transformadores acoplados sobre el cuadro y todos los secundarios acoplados por medio de los corta circuitos de alta. Los conductores de alta tensión de la fábrica han sido, pues, comprendidos en esta medida. Se obtuvo una resistencia de aislamiento de 140 á 20 megohmios.

2.<sup>a</sup> Acoplados los transformadores, como anteriormente se midió la resistencia de aislamiento entre el secundario de alta tensión y la tierra. Esta resistencia fué de 20 megohmios.

3.<sup>a</sup> La resistencia de aislamiento entre el secundario de un transformador de 140 Kw y el núcleo del transformador se encontró igual á 35 megohmios.

4.<sup>a</sup> Entre el bastidor del cuadro (comprendiendo la galería) y la tierra se halló que era igual á 100.000 ohmios.

5.<sup>a</sup> Entre los arrollamientos inducidos de todas las máquinas acopladas, los conductores y aparatos del cuadro por una parte y la tierra por otro, la resistencia de aislamiento ha sido de 4,7 megohmios.

**Ensayo de tensión.**

Este ensayo se ha ejecutado con los nueve transformadores de la fábrica acoplados en las condiciones que han de prestar el servicio normal, y se mantuvo durante un cuarto de hora la tensión de 22.200 voltios.

Tales fueron los ensayos realizados con motivo de la recepción provisional del material de la Central de Colmenar Viejo.

**Ensayo de los aparatos accesorios, línea y transformadores rotativos.**

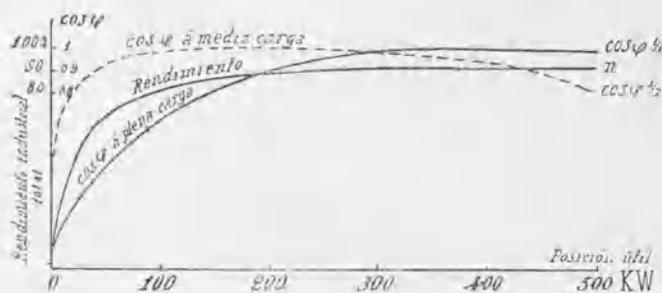
Las experiencias realizadas sobre las condiciones de funcionamiento de los fusibles, pararrayos y líneas (1), fueron causa de que se introdujesen algunas modificaciones en aquéllos y de que se adoptasen las medidas de seguridad antes descritas en el pasó de la línea de alta tensión por sitios frecuentados.

Respecto de los fusibles de alta tensión, se pudo observar en estas experiencias la conveniencia de la uniformidad de sección del hilo fusible entre los terminales, á fin de evitar la persistencia del arco entre ellos.

Los pararrayos Würts, graduados en fábrica para 15.000 voltios y traídos directamente de la casa americana constructora, no funcionaron á 19.000 voltios á pesar de haber separado tres elementos de cada uno, lo cual demuestra la necesidad de probar todos estos aparatos de seguridad antes de empezar la explotación.

En cuanto al cobre de la línea ya se ha indicado antes los resultados que dieron los ensayos y que por cierto sin dejar de ser buenos, no eran los prometidos por la importante casa alemana que lo suministró y que por tal motivo tuvo algunos disgustos antes de la recepción de sus conductores: esto demuestra una vez mas la necesidad de efectuar detenidas experiencias con todo género de material antes de aceptarlo y que la costumbre de considerar como excelente todo el que proceda de las casas renombradas del extranjero, es sin duda la causa principal de que éstas echen mano con demasiada frecuencia, á la sección de «Materiel pour l'Espagne et le Maroc».

Ya se ha indicado antes las condiciones de funcionamiento del material de las estaciones receptoras y para terminar se indicarán las pruebas de los transformadores rotativos de la Central hidro-eléctica de la Sociedad de Chamberi.



*Fig 1. Diagrama de los ensayos de un convertidor sincrónico de 350 kilowatts.*

Los motores isócronos de 368 kilovatios, 375 vueltas y tensión de 350 voltios de dicha Sociedad han sido probados en los talleres de construcción de Oerlikon, valiéndose de dos grupos iguales, y haciendo que la energía suministrada por la dinamo del primero se enviase á la del segundo, que actuaba por tanto como motor, poniendo en marcha el segundo convertidor y engendrando corriente alterna que volvía á la fuente de energía; de esta manera el consumo de fluido es muy pequeño.

La figura anterior representa el diagrama de ensayo del

(1). Véase MADRID CIENTÍFICO, núm. 368-30 Enero 1902.

convertidor isócrono. Las dos curvas superior é inferior indican los valores del factor de potencia á media y á plena carga á excitación constante, la primera de 7,1 amperios, la segunda de 8,2. Claro es que cualquiera que sea la carga puede obtenerse un valor de  $\cos \varphi=1$  eligiendo convenientemente la excitación. La tercera curva da el rendimiento industrial á distintas cargas ó sea la relación entre la potencia recogida en los terminales del generador de corriente continua y la suministrada al motor de corriente trifásica.

En la fig. de las características del motor isócrono considerado independientemente, he aquí las notaciones empleadas:

$E_0$ —voltios en los terminales en función de la excitación.

$I_c$ —amperios en corto circuito

$I_{a0}$ —amperios en una fase en vacío

$I_{a1/2}$ — — — — á media carga

$I_{a1}$ — — — — á plena carga

$\cos \varphi^1_1$ —Valores de  $\cos \varphi$  á plena carga con excitación constante.

$\cos \varphi$ —Valores de  $\cos \varphi$  á media carga con excitación constante.

Rendimiento con un factor de potencia igual á la unidad.

$P_{hp}$ —Potencia útil en función de la potencia absorbida.

$P_{max}$ —Intensidad en amperios útiles que producen la caída de fase del motor.

Además se han representado las diversas pérdidas á saber:

$P_{exc}$ —gasto de la excitación,  $P_p$  pérdida por rozamiento y ventilación.  $P_{fe}$ —pérdida en el hierro;  $P_i$  pérdida en el cobre inducido.

Para las pruebas á grandes tensiones, se disponía de un transformador monofásico de ensayo, elevando la tensión de 200 á 50.000 voltios. El enrollamiento de alta comprende

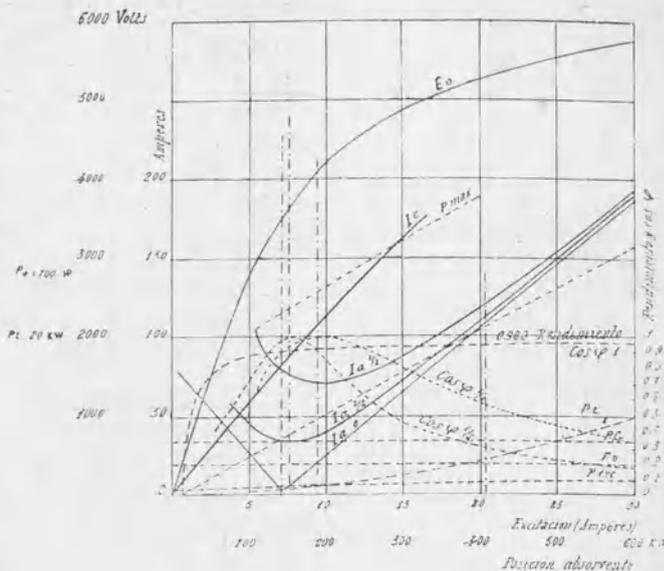


Fig 2. Características del motor sincro no trifásico considerado aisladamente.

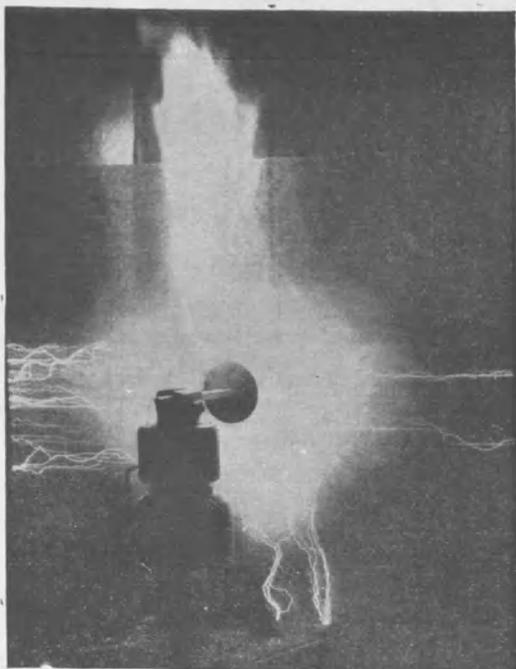
veinte secciones, dando cada una 2.500 voltios y estando enlazadas por grupos de cuatro á terminales distintos; en este transformador, que es sin baño de aceite, puede obtenerse así á voluntad: 10.000, 20.000, 30.000, 40.000 ó 50.000 voltios.

La tensión máxima alcanzada en los ensayos fué de voltios 73.000; al llegar á esta enorme tensión, se vió que el aislador de porcelana la soportaba perfectamente, y no pudiendo saltar la chispa á través de una placa de vidrio interpuesta entre los conductores extremos, se abrió paso la corriente al fin, directamente á través del aire desde el conductor hasta el soporte del aislador.

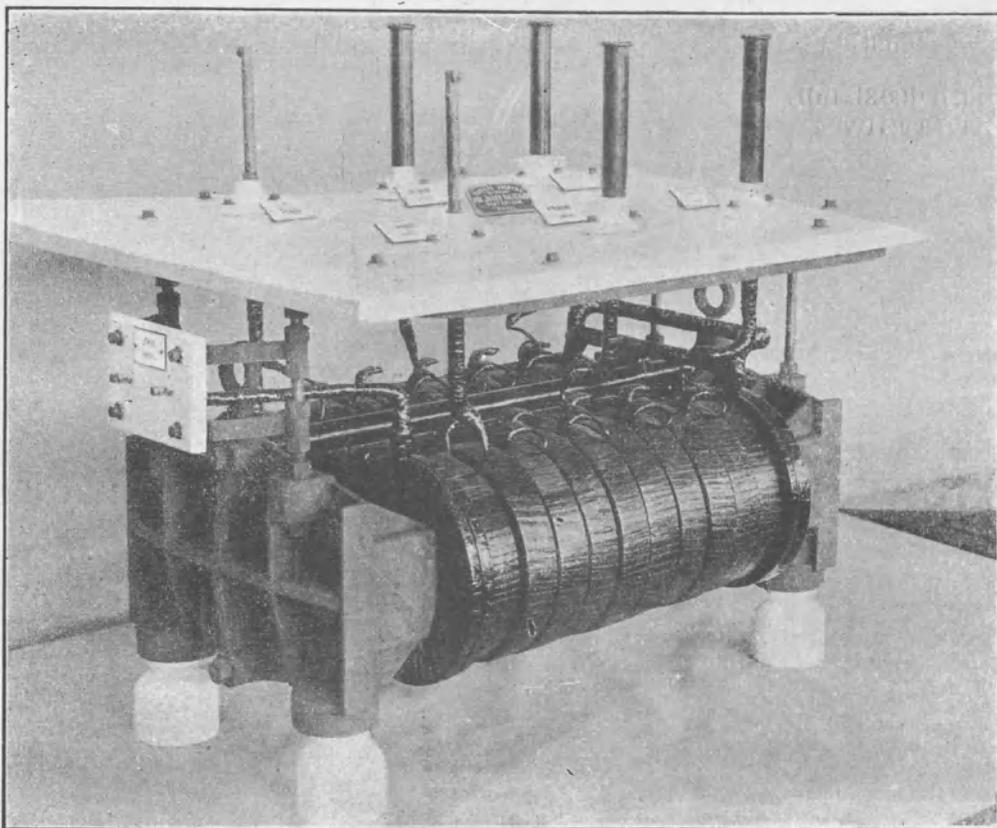


1074859





**Descarga á 50.000 voltios.**



**Transformador de 50.000 voltios para pruebas.**

---

**Este número está impreso en el Establecimiento tipográfico de ARTE Y LETRAS, montado con los últimos adelantos para toda clase de trabajos, especialmente para los ilustrados. Dicho establecimiento está situado en la**

**CALLE DE SANTA FELICIANA, NÚM. 15.—MADRID**

5.000

