

Será simétrica, sin embargo, en el caso particular en que

$$x = -\frac{a_1}{2a_2}$$

Puede ocurrir también que las dos raíces sean iguales. Entonces la integral contiene un término que es

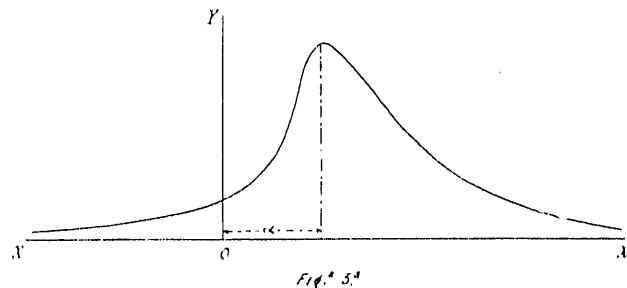


Fig. 3.

un logaritmo y otro que es una fracción de numerador constante y denominador de primer grado; la ecuación final afecta la forma

$$y = A(x - x_1)^{-m} e^{-\frac{a}{x-x_1}}$$

y se anula para  $x = x_1$  y para  $x \rightarrow \infty$ ; lo mismo ocurre con su derivada. La curva (fig. 4.a) tiene un

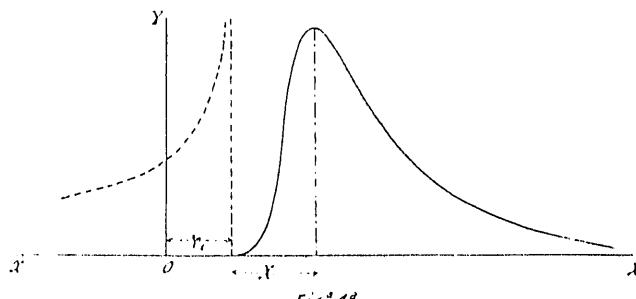


Fig. 4.a

límite de aplicación finito y se extiende indefinidamente en un sentido; la rama, que en el otro senti-

do cabría considerar cuando  $m$  fuera entero o de denominador impar, se aleja indefinidamente del eje de las  $x$ , y debe ser desechada; presenta, además, en su origen una discontinuidad esencial. El valor de máxima frecuencia vendría dado por la ecuación

$$(x - x_1)^2 - \frac{m}{x - x_1} = 0$$

de donde

$$x - x_1 + \frac{a}{m}$$

Las formas expresadas degeneran cuando se rebaja el grado del denominador por la anulación de los coeficientes de los términos en  $x^2$  y en  $x$ . Foster se detiene con preferencia en el caso en que el denominador es de primer grado

$$a_0 = 0 \quad \therefore q(x) = \int \frac{(x - a)}{a_1 + a_2 x} dx$$

Entonces la integración conduce a una expresión de la forma

$$y = Ae^{-mx}(x - x_1)^m$$

en la que

$$x_1 = -\frac{a_0}{a_1}$$

y la forma de la curva sería parecida a la de la figura 4.a.

Por último, si también se tiene  $a_1 = 0$ , se recae en la fórmula de Gauss.

La aplicación de estas fórmulas a los casos que se presentan en la práctica será objeto de otro artículo.

Pedro M. GONZÁLEZ QUIJANO  
Ingeniero de Caminos

## Central térmica del Metropolitano Alfonso XIII

### Antecedentes

Al comenzar la construcción del Ferrocarril Metropolitano de Madrid, el año 1917, se procuró reducir al mínimo los gastos de primer establecimiento, para no caer en uno de los errores en que con más frecuencia incurrimos los ingenieros: el de planear las empresas industriales en su origen con demasiada amplitud, con excesivo capital, al que luego es muy difícil dar un interés remunerador.

De acuerdo con aquel criterio, nos limitamos a construir un trozo de tan sólo 3,6 km, de Cuatro Caminos a Puerta del Sol, con la esperanza, afortunadamente sancionada por la realidad, de que los resultados financieros de la explotación de este primer trozo animasen a los capitalistas a proseguir la obra tan modestamente iniciada.

Claro es que el criterio de economía no debía exagerarse hasta el punto de escatimar las secciones de

las galerías del ferrocarril subterráneo, las dimensiones de sus estaciones y accesos, etc., pues estos elementos esenciales que caracterizan la capacidad máxima de tráfico, son prácticamente imposibles de ampliar más adelante, y entendemos que obras de esta naturaleza deben proyectarse, por lo mismo, mirando al tráfico futuro. Sería falta imperdonable ahogar para siempre bajo un mezquino concepto de lucro de empresa el porvenir de una población, tan íntimamente ligado a la capacidad y rapidez de sus medios de comunicación.

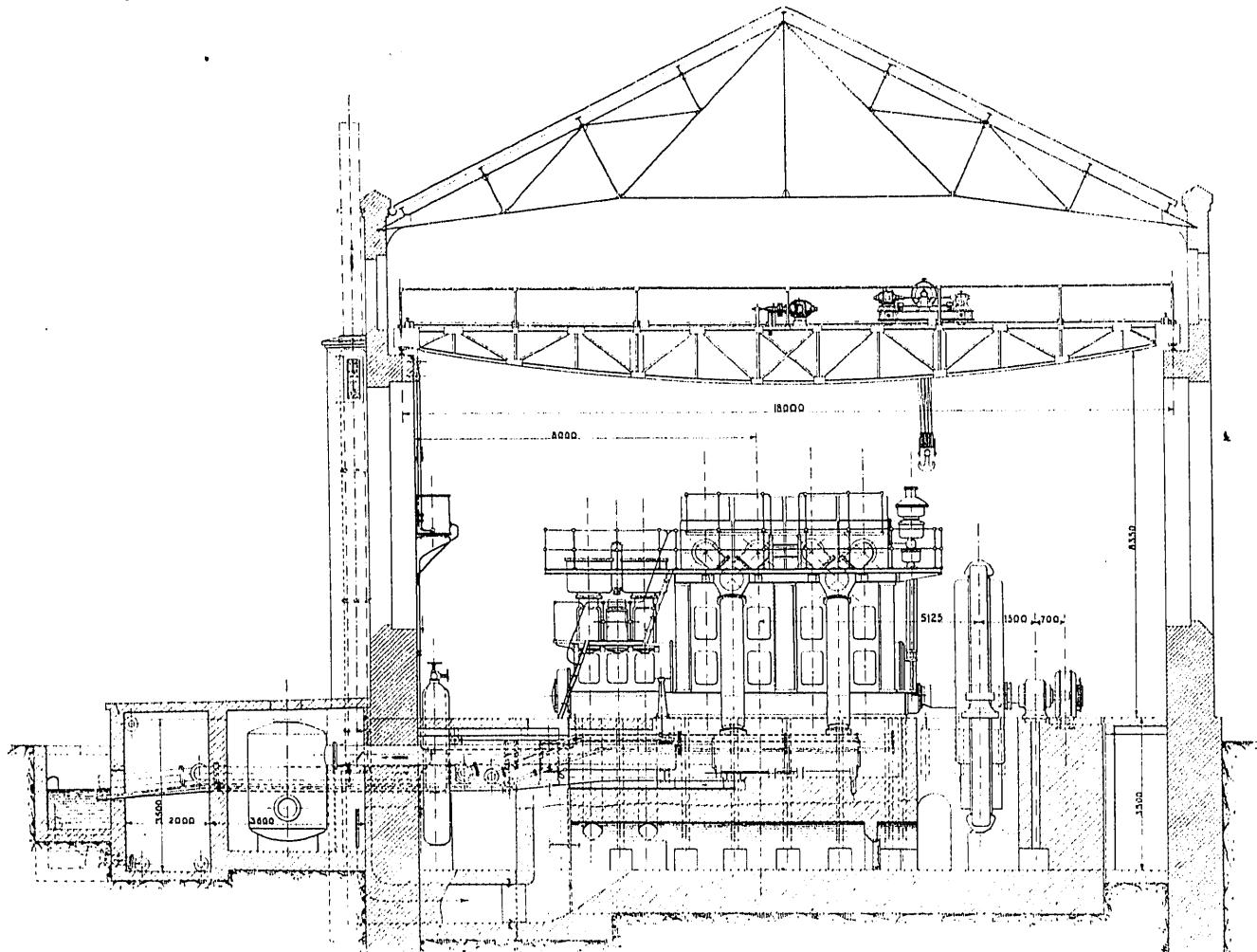
En cambio, el Metropolitano, en su origen, podía y debía abstenerse totalmente de invertir un solo céntimo de su capital en la instalación de medios propios para producir la fuerza necesaria para su ferrocarril, toda vez que las Centrales productoras de Madrid ofrecían entregársela en buenas condiciones.

Por estas razones se inauguró el servicio de Cuatro Caminos a Sol, en octubre de 1919, teniendo como

única fuente de energía la suministrada por la Unión Eléctrica, con sus saltos de Bolarque, del Canal de Isabel II y sus reservas térmicas; la energía trifásica

caso de avería de los saltos y Centrales de reserva.

Al prolongarse la red y aumentar las demandas de

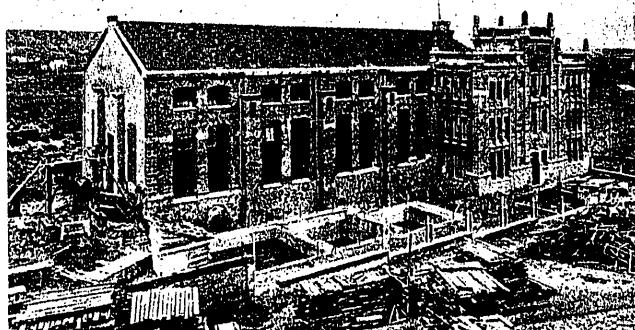


Central térmica del Metropolitano Alfonso XIII: Corte transversal.

alta tensión de los saltos se convertía en la subestación de la Unión situada en su Central Norte de la calle de Francisco de Rojas, en corriente continua

energía del ferrocarril, la Unión Eléctrica, unida a la Hidráulica Santillana, podía seguir atendiendo las; pero comoquiera que aquéllas han de ir creciendo rápidamente y constantemente, el Metropolitano, para mayor garantía de su servicio, decidió instalar por su cuenta, y de acuerdo con las Compañías productoras citadas, una Central térmica de reserva para casos de estiaje o averías en las instalaciones de las entidades suministradoras.

Al tomar esta resolución la Compañía no rectificaba el plan de economía adoptado en su origen, cuando ignoraba su porvenir, sino que lo confirmaba, pues conocía concretamente el importe de la energía que consumía y sabía que el capital invertido en la nueva Central obtendría su remuneración, al permitirnos contratar el fluido como energía invernal de ocho meses y, por tanto, a menor precio. Pero por encima de esta consideración, cuya importancia es muy grande, pesó otra en la decisión adoptada, y es la de que dicha Central la juzgamos indispensable para garantizar la constancia del servicio de nuestro ferrocarril, y entendemos que el cumplimiento de las obligaciones contraídas con el público es un deber primordial de toda Empresa para mantener su crédito, que es, en definitiva, la verdadera riqueza, tanto de los individuos como de las colectividades.



Vista general de la Central.

a 600 voltios, que es la empleada en la tracción de nuestros coches. Una batería de acumuladores instalada en dicha subestación permitía mantener ella sola, durante una hora, todo el servicio, aun en el

### Capacidad de la Central

Decidida la construcción de la Central térmica, fijamos su capacidad en 4 500 CV repartidos en tres grupos de 1 500 CV, de los que normalmente trabajarán dos, quedando el tercero de reserva.

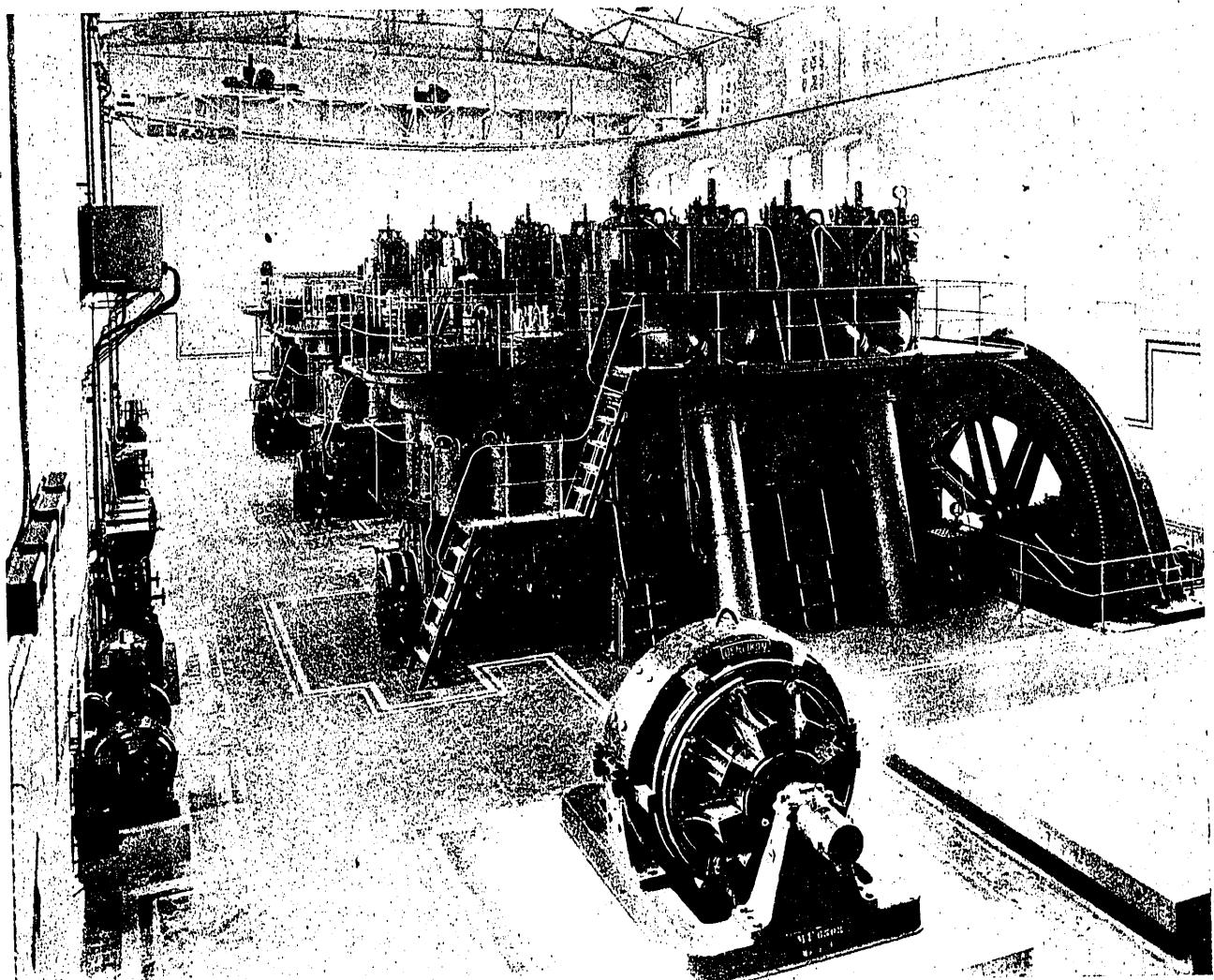
Con la línea actual Cuatro Caminos-Sol-Vallecas, de 7,7 km de longitud y un tráfico medio diario de 11 000 coches-kilómetros, se consume en las veinte horas de servicio 27 500 kilovatios-hora en alta tensión, siendo las absorciones máximas de energía de 2 200 kilovatios. A medida que la red crezca y haya más coches en la línea, disminuirá la relación entre dicha ordenada máxima de la curva de consumo y la ordenada media; además, las baterías de acumuladores y los grupos Lancashire de nuestras subestaciones, permitiendo cargar aquéllas en los momentos de poca carga y devolver a la red en los de carga excesiva la energía acumulada, disminuyen notablemente la potencia disponible necesaria en la Central. Se ve por lo expuesto que los tres grupos de 1 500 CV cada uno permiten atender, no sólo las necesidades del momento, sino las de las líneas hoy en construcción.

### Motores elegidos

Al estudiar el tipo de motor más conveniente para nuestra Central, hemos preferido el motor de combus-

tión interna tipo Diesel a la turbina de vapor, pues no hay que olvidar que dicha Central es de reserva o socorro, y, por tanto, es de capital importancia el que rápidamente se pueda poner en marcha. Además, la supresión de las calderas, la reducción consiguiente del espacio ocupado, la disminución de personal para su manejo y el poco consumo de agua que requieren, son ventajas muy apreciables que han decidido nuestra elección.

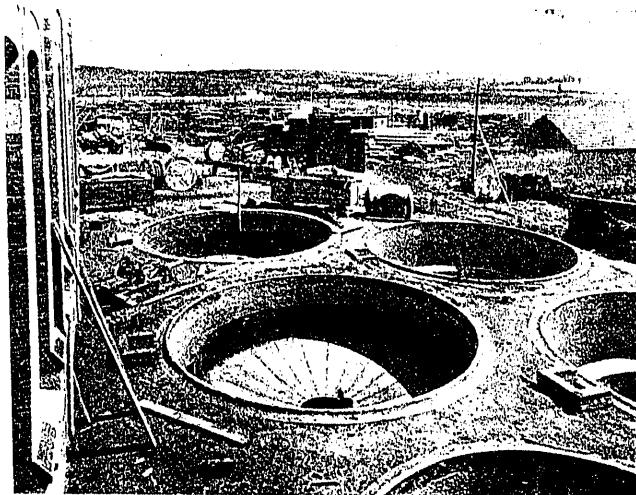
En cuanto al coste de producción de cada kilovatio-hora, es muy difícil asegurar si con los motores Diesel nos resultará o no más económico que con las turbinas de vapor, pues, según el mayor o menor uso que de la Central se haga, influirán en distinta proporción sobre dicho coste el interés y amortización del capital invertido, los gastos del personal, etc.; en lo referente al importe del combustible, influirán, a su vez, las fluctuaciones de la cotización del carbón o de los aceites pesados, de sus derechos de Aduanas, de su transporte a Madrid, etc. Los partidarios del motor Diesel preconizan como ventaja esencialísima su mejor rendimiento térmico, que se eleva a 32 ó 33 por 100, mientras que en las máquinas de vapor difícilmente se llega a un 12 por 100; pero el fabricante de kilovatios, en su egoísmo industrial, fruto de la dura ley de la competencia, compara los precios del aceite pesado y del carbón consumidos para producir cada kilovatio-hora, y si aquél le resulta más caro, de



Interior de la central con los tres grupos electrógenos.

poco consuelo le sirve el recuerdo del excelente rendimiento térmico obtenido con los aceites pesados, y la satisfacción moral del mejor aprovechamiento de los recursos con que la Naturaleza dotó a nuestro planeta.

Aceptado el motor Diesel de 1.500 CV, quedaba la duda de dar la preferencia al motor de 2 ó de 4 tiempos. Durante estos últimos años, en las revistas técnicas se ha discutido con gran calor las ventajas e inconvenientes de uno y otro tipo, y también aquí pudiéramos invocar el egoísmo industrial para justificar el apasionamiento con que los técnicos de tal o cual Casa constructora, o los esforzados paladines de tal o cual patente, han roto una lanza *pro domo sua*. Pero en el momento actual parece ser que tirios y troyanos coinciden en que para potencias de esta importancia el motor de dos tiempos es preferible, en atención a sus menores dimensiones y peso, con la consiguiente baratura y reducción de local; a su mayor regularidad, que facilita el acoplamiento directo a las generatrices eléctricas; a que en ellos se puede emplear, aun a cargas reducidas, aceites difficilmente inflamables, etc. Estas ventajas compensan



Depósitos para combustible.

el que bajen ligeramente los rendimientos térmicos y orgánicos respecto a los de los motores de cuatro tiempos, en los que se aprovecha mejor la expansión de los gases y son menores las potencias absorbidas por sus elementos auxiliares, en especial por la bomba del barrido de gases quemados.

El funcionamiento de estos motores Diesel de dos tiempos es bien conocido, y lo recordaremos brevemente: el cilindro está lleno de aire, que al subir el émbolo se comprime y se calienta, alcanzando una presión de unas 32 atmósferas y una temperatura de unos 500 grados al llegar el émbolo al punto muerto superior. En ese momento se inyecta el combustible por la culata, durante una fracción de 1/8 a 1/10 de la carrera, se inflama al contacto del aire caliente y los gases de la combustión, al expandirse, producen la carrera motriz durante el descenso del émbolo. Poco antes de llegar éste al punto muerto inferior se abre el escape, y a continuación viene el barrido energético de los gases quemados, que dura todavía durante el comienzo de la carrera ascendente del émbolo; se llena así el cilindro de aire puro, que al continuar subiendo el émbolo se comprime, repitiéndose el ciclo.

En el grabado se ven los tres grupos Diesel de nuestra Central, de 1.500 CV cada uno, pudiendo momentáneamente dar un 20 por 100 más de potencia. Los cuatro cilindros verticales de cada motor van colocados en su parte alta, y sobre su culata se destaca la válvula de entrada del combustible y la de arranque del motor, que se efectúa por aire comprimido; junto a uno de los cilindros extremos está el regulador, que se puede accionar eléctricamente desde el cuadro de distribución general de la Central, variando en + 5 por 100 el número de revoluciones.

Las bielas, árbol motor, etc., quedan encerrados en una envolvente metálica con ventanas visitables, y al exterior aparecen los cuatro tubos de escape, unidos por parejas, de modo que se reúnen y bajan verticalmente por dos tubos provistos de camisa refrigerante.

Por el lado opuesto al escape corre, a lo largo de los cilindros, el árbol de levas, que acciona las válvulas antes citadas, y la bomba del combustible con cuatro palancas, que permiten intercalar o aislar cada uno de los cilindros.

Sobre la bancada general del motor propiamente dicho se hallan las dos bombas del barrido y las de compresión. El aspecto compacto y robusto del grupo se aprecia perfectamente en las figuras.

Cada grupo está directamente unido a un alternador tipo volante de 1.000 kws de capacidad, que engendra la energía trifásica a 15.000 volts, que se transporta, bien a las subestaciones del Metropolitano, bien a las Centrales productoras de la Unión o Santillana para ir en su ayuda, pudiendo trabajar con ellas en paralelo.

Bajo una gran nave rectangular de 43 por 18,70 metros, se albergan los tres grupos térmicos descritos y las dos comutatrices exafásicas de 1.000 kwa cada una que constituyen una de las subestaciones de transformación del Metropolitano. La corriente trifásica a 15.000 volts creada por los grupos Diesel o recibida en la Central procedente de las entidades suministradoras, sufre una reducción de voltaje en dos transformadores estáticos en baño de aceite de 1.110 kwa cada uno con bobinaje exafásico y pasa a las comutatrices, que la convierten en corriente continua a 600 volts para la tracción de los vehículos. En el testero de fondo de esta gran nave está el cuadro general de distribución, en alto, dominando el conjunto de la Central; un puente-grúa eléctrico de 12 toneladas de capacidad corre a lo largo de ella; el testero opuesto se desmonta fácilmente para atender a futuras ampliaciones.

Adosado a esta nave, por el lado del cuadro, hay un edificio de varios pisos, con fachada a la calle de Valderribas, en el que se hallan los dos transformadores estáticos antes citados, barras generales, aparatos contra sobretensiones, interruptores automáticos, etc., instalados todos ellos en celdas aisladas.

Por último, en la inmediata proximidad de la Central, se han construido cinco depósitos de combustible, subterráneos, visitables, de 100 metros cúbicos de capacidad cada uno; se hallan también los locales de las bombas, el refrigerador, etc.; la nave de la batería de acumuladores de 2.000 amperios-hora de capacidad, que con su grupo Lancashire es un anejo de la subestación, y la casa-vivienda para el jefe de la Central.

La ubicación elegida, en el barrio del Pacífico, junto a nuestros Talleres generales de construcción,

y cerca de la estación del ferrocarril M. Z. A. del cerro de la Plata, tiene la ventaja de que el personal de dichos Talleres puede atender en un momento dado al funcionamiento de los motores térmicos, con la consiguiente economía resultante de esta centralización, y al mismo tiempo la proximidad a la estación del ferrocarril citada abarata los gastos de transporte de combustible. La Compañía tiene en estudio la instalación de una tubería que enlace directamente los muelles de dicha estación con los depósitos subterráneos de la Central y reduzca así al mínimo el coste de dicho transporte del combustible.

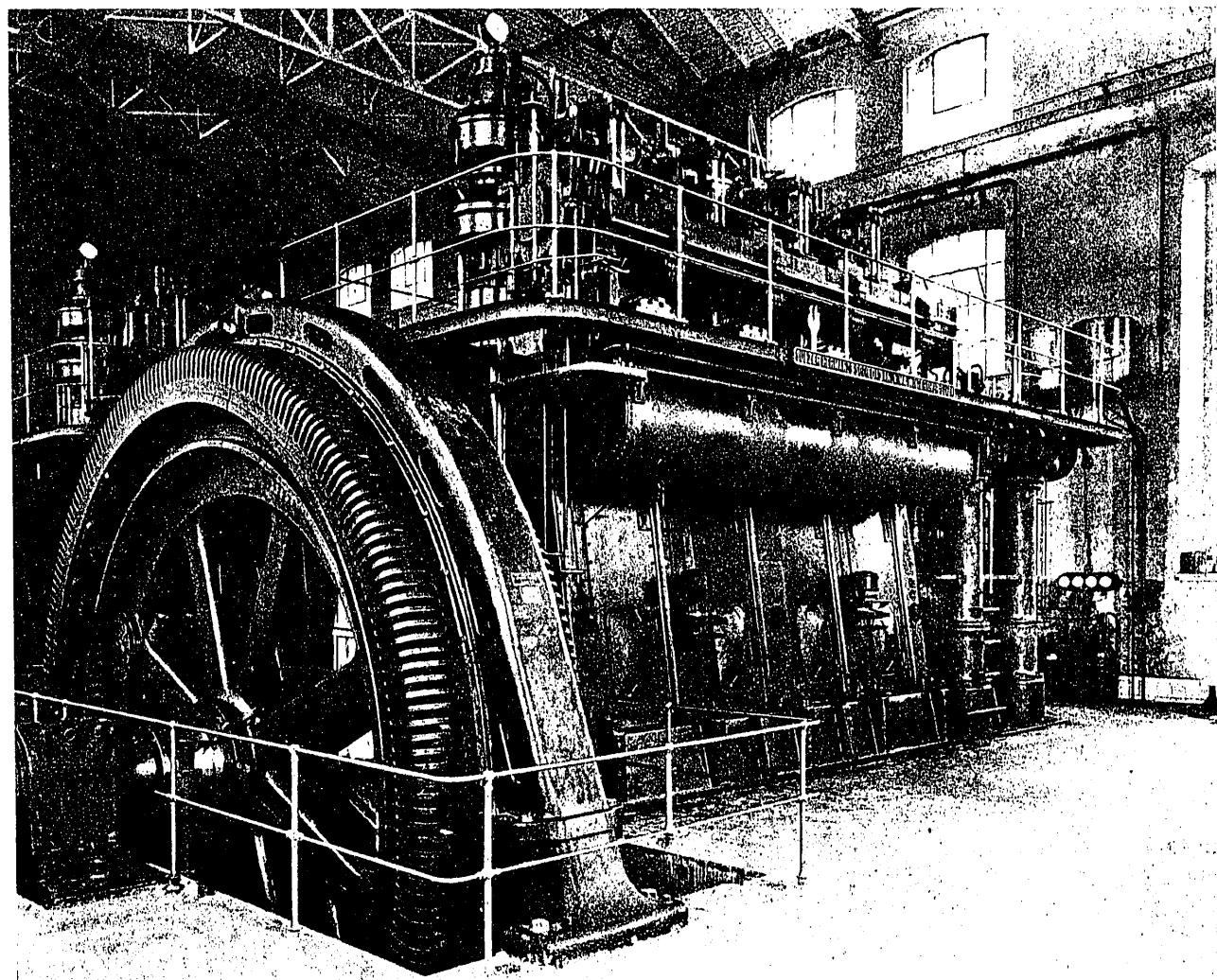
Las obras se han efectuado con extraordinaria rapidez, pues, comenzada la construcción del edificio

### Resultados obtenidos

De los datos recogidos durante las pruebas en la Central, y durante el tiempo en que se ha dado el servicio total del Metropolitano con los grupos térmicos, resulta que el consumo medio de combustible por caballo-hora efectivo, empleando el gas oil, de unas 10 000 calorías, ha sido:

A plena carga.....	189 gramos
A $\frac{3}{4}$ de carga.....	194 .....
A media carga.....	209 .....

El precio a que nos ha costado la tonelada de este combustible puesto en Madrid ha sido de 375 pe-



Alternador trifásico de 1 000 kw, directamente acoplado a motor Diesel de 1 500 CV.

el 10 de octubre de 1922, se ultimó el 20 de marzo de 1923, y prestó servicio el primer grupo en el verano del mismo año, funcionando los tres grupos en el estiaje agudo del mes de noviembre. Al frente de estos trabajos ha estado el ingeniero jefe de explotación del Metropolitano, D. Carlos Laffitte, y la labor que ha realizado, sin descuidar por ello el intenso servicio de explotación, constituye su mejor elogio. En la construcción de los edificios citados, la colaboración del laureado arquitecto D. Antonio Palacios nos ha sido, como siempre, de extraordinaria utilidad, para que aquéllos sean artísticos sin perder el carácter industrial que en todo momento deben ostentar.

setas, pero se espera obtenerlo en lo sucesivo más barato.

En las experiencias realizadas con la diselina, procedente de los esquistos bituminosos de Peñarroya, el consumo ha sido ligeramente mayor, pero como su precio ha sido de 300 pesetas tonelada en Madrid, el coste por caballo hora es más económico que con el gas oil.

Por lo expuesto se ve que, dado el precio actual del combustible líquido en Madrid, y el del carbón, para la producción de energía en gran escala, y de modo bastante permanente, parecen ser más convenientes las grandes centrales de turbina de vapor, en alguna de las cuales, como en la famosa de Gen-

nevilliers, cerca de París, con sus cinco gigantescas turbinas, de 40 000 kws cada una, que he tenido ocasión de visitar hace pocos días, se ha llegado a un consumo de 700 gramos de carbón por kilovatio hora. Pero en las Centrales de socorro, como ésta del Metropolitano, creemos están muy indicados los motores Diesel, por la importantísima ventaja de su rápida puesta en marcha, que en nuestra Central llega a hacerse a los cinco minutos de recibida la

orden, y el reducido personal de plantilla que su funcionamiento requiere.

Por ser en la actualidad esta Central la más importante de su clase en España, me ha parecido que su descripción pudiera interesar a los lectores de la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS.

Miguel OTAMENDI  
Ingeniero de Caminos,  
Director del Metropolitano Alfonso XIII

## XIII Congreso Internacional de Navegación

### Navegación interior

En el número 7 del año último (página 113) se publicaron las conclusiones a que había llegado el Congreso celebrado en Londres respecto a los temas o cuestiones referentes a la navegación interior y a la marítima, y ahora se darán a conocer los votos emitidos por aquél respecto a los asuntos a que se refieren las comunicaciones relativas a la navegación interior, que, en número de dos, se habían propuesto para dicho Congreso.

Aun cuando los trabajos o memorias referentes a estas comunicaciones fueron ampliamente discutidos después de su lectura, de acuerdo con los reglamentos del Congreso de Navegación, no se propusieron conclusiones, puesto que precisamente incluyen aquéllos entre las comunicaciones ciertos asuntos que, si bien en muchos casos son de importancia tan grande como los desarrollados en las cuestiones, no permiten, sin embargo, formular conclusiones, porque serían tal vez prematuras por la índole del asunto o por otras causas.

Las comunicaciones y votos emitidos respecto a ellas son los siguientes:

Primera comunicación: *Influencia de las aguas superficiales y de las capas subterráneas sobre el caudal de los ríos. Régimen de los canales mixtos; determinación del consumo de agua necesario para la navegación y para el riego; parte de aquélla restituída a las capas subterráneas.*

Teniendo en cuenta la importancia que presenta el conocimiento del régimen de las aguas, tanto superficiales como subterráneas, para la navegación (ríos, canales y canales mixtos), la fuerza motriz, la agricultura y todos los demás usos, la primera Sección del XIII Congreso Internacional de Navegación emite el voto siguiente:

1.<sup>o</sup> Que se instituya un Comité internacional con los propósitos:

a) De registrar los resultados ya obtenidos referentes a este asunto.

b) De proponer los mejores procedimientos que deben emplearse para obtener datos e informaciones precisos sobre estas cuestiones, partiendo de la adopción de métodos de observación todo lo más uniformes que posible sea.

c) De recopilar los resultados registrados.

2.<sup>o</sup> Que se emprendan y publiquen, desde luego, en los distintos países, estudios relativos a estos asuntos, con el fin de facilitar los trabajos del Comité internacional.

Segunda comunicación: *Unificación de las estadísticas de navegación interior, con el objeto de facilitar la comparación de los resultados de la explotación de las vías navegables en los diversos países.*

La primera Sección del XIII Congreso Internacional de Navegación expresa su vivo deseo de que la Comisión permanente tome las medidas necesarias para

llevar a efecto los votos ya expresados en los anteriores Congresos respecto a la unificación de las estadísticas de la navegación interior en los diversos países, y que se nombre un Comité internacional con el fin de conseguir, en cuanto ello sea posible, la unificación de dichas estadísticas.

\* \* \*

Dada la naturaleza de los asuntos a que se refieren, y que no es grande la importancia que en nuestro país tienen las vías navegables, creo innecesario, para la generalidad de los lectores de esta REVISTA, añadir nada a las conclusiones referentes a los dos temas relativos a la navegación interior, que se consignan en el número 7 (página 113), ni a lo que se dice en el párrafo anterior respecto a la segunda comunicación; los que deseen estudiar estos asuntos deben procurarse las ponencias publicadas por la Asociación permanente de los Congresos de Navegación (rue de Louvain, 38, Bruselas), y también les interesarán los resúmenes de las sesiones del Congreso, publicados por la revista inglesa *Engineering* (números del 6, 13 y 20 de julio). Pero como la primera comunicación comprende varias cuestiones muy relacionadas con el aprovechamiento de los cursos de agua para la obtención de fuerza motriz y para el regadío, estimo oportuno ampliar lo que respecta a ella se dice anteriormente, pues sólo se limita a reproducir el voto emitido por la primera Sección del Congreso, como resultado de las Memorias presentadas y de la amplia discusión a que dieron lugar.

Se presentaron seis Memorias referentes a dicha primera comunicación, que se resumen en la ponencia de Mr. E. Sandeman, cuyas observaciones y conclusiones extractamos. En ellas se hace notar que la relación entre la precipitación en una cuenca hidrográfica y el caudal que puede medirse en el curso de agua correspondiente varía de un caso a otro, sin que haya jamás dos cuencas hidrográficas cuyas circunstancias dominantes sean completamente análogas. El porcentaje de caudal apreciable puede variar entre 0 y 90 por 100, y aún más. Interesan especialmente al ingeniero hidráulico los volúmenes de líquido que por año han pasado por el curso de agua, coleccionando los datos de varios años y deduciéndolo el valor medio, y también los caudales máximo y mínimo registrados o probables. Los caudales mínimos corresponderán a prolongados períodos de sequía, en los que el agua procederá exclusivamente de las capas subterráneas; en pequeñas cuencas con superficie impermeable se llegará al límite de 0; pero en las que cuentan varios miles de hectáreas y que contienen una proporción bastante elevada de capas superficiales permeables, las cifras de 1 a 2 litros por segundo y por 100 hectáreas pueden ad-