

LA CENTRAL TERMoeLECTRICA DE COMPOSTILLA, EN PONFERRADA

II. MAQUINARIA Y ESQUEMAS

Por A. MARTINEZ CATTANEO, Ingeniero de Caminos.

El subtítulo y el primer párrafo del artículo explican suficientemente el contenido de esta segunda parte de la descripción de esta gran instalación termoeléctrica, iniciada en nuestro número anterior. En el próximo artículo se tratará de la disposición general de la instalación y proyecto de edificio.

Prendemos dar a conocer en estas notas las razones justificativas de la maquinaria principal elegida para la Central. Para situar el problema en cada caso, haremos una breve exposición de los antecedentes y evolución en el tiempo de cada materia, que presentaremos hasta el año en curso, advirtiendo, sin embargo, al lector, que la elección de maquinaria fué hecha en los años 1945 y 46.

Elementos básicos.

Constituyen el eje de toda central termoeléctrica, o sea sus parámetros fundamentales, los siguientes:

Combustible.

Potencia total en turbogrupos.

Presión de vapor y temperatura.

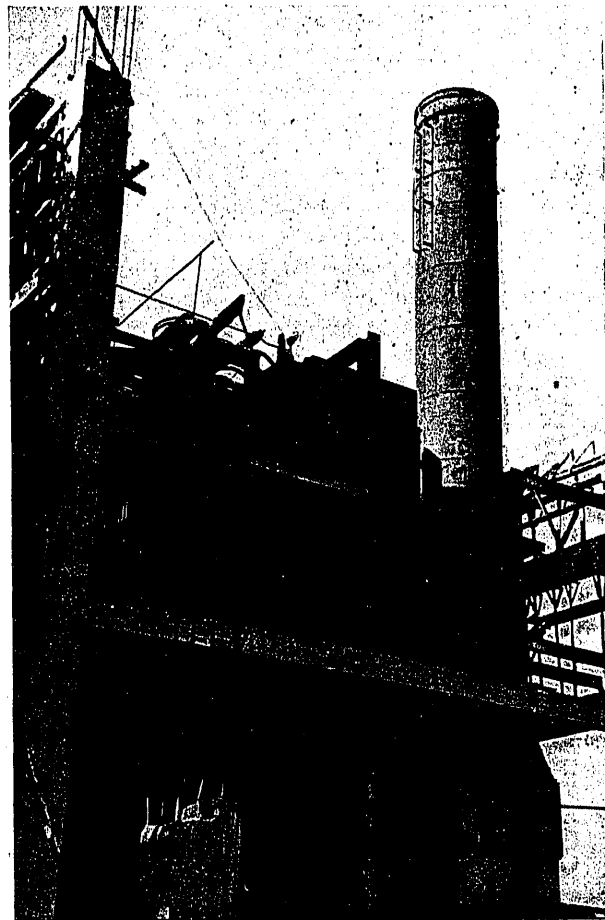
Combustible y potencia total.— Ya vimos en el artículo precedente los datos fundamentales relativos al combustible que necesariamente había de emplearse en esta Central, cuya construcción y ubicación está subordinada precisamente a aquél. También se hicieron unas breves consideraciones sobre las posibilidades existentes en cuanto a tonelaje anual de combustible y potencia total a instalar.

La creación de la Empresa con la misión inmediata de construir la Central de Compostilla, se hizo concibiendo ésta con una potencia total, en su etapa final, de 75 000 KW. En la actualidad se estudia la ampliación a 100 000 KW, en una etapa inmediata, y a 150 000 KW, en la definitiva.

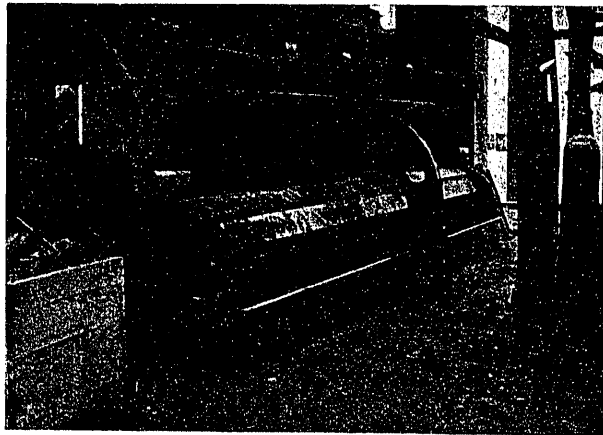
Presión y temperatura del vapor.— Hace veinticinco años, la presión máxima a que se llegaba en el proyecto y construcción de calderas de vapor era de 28 Kg./cm.². Esta presión se fué aumentando paulatinamente en los años posteriores, hasta llegar, poco tiempo después, a una presión normal de servicio de 85 Kg./cm.², permaneciendo, sin embargo, las temperaturas del vapor en los 385° C. durante mucho tiempo, debido a la falta de materiales adecuados para

soportar mayores temperaturas con aquellas elevadas presiones.

Se ha perseguido sin cesar la construcción de calderas, o mejor dicho, del conjunto caldera, tubería de enlace y turbogenerador, con la mayor presión posible, buscando con ello una economía en el consumo



Una de las calderas montadas, sin el revestimiento de ladrillo refractario.



Cabeza de alimentación de la parrilla de una caldera durante el montaje.

de combustible. Esta economía solamente será conseguida en determinadas circunstancias, que dependen fundamentalmente del mayor costo de las máquinas y tuberías para altas presiones, por un lado, y del precio del combustible y el factor de carga, por otro. Esto hace que sea tanto más económica la instalación de máquinas de elevada presión, cuanto más caro sea el combustible y mayor el factor de carga de la Central.

Los gráficos que a continuación figuran demuestran cómo ha ido aumentando la presión y temperatura normales en los últimos años, a la par que ha disminuído el consumo de carbón por Kw-h producido. Estos gráficos se refieren a las instalaciones de

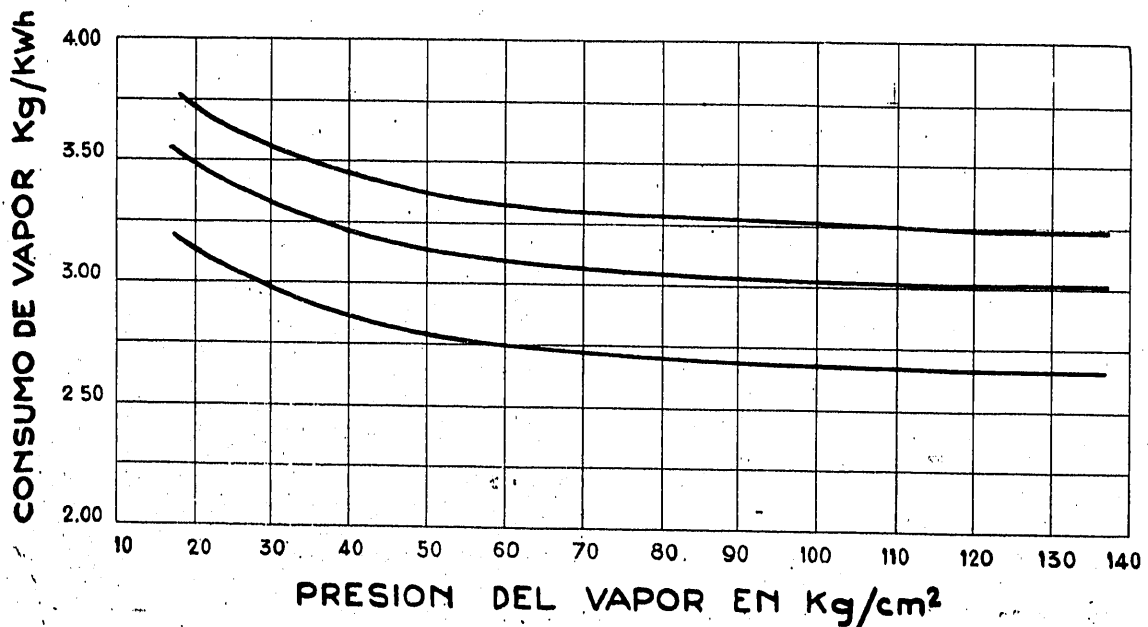
los EE. UU., pero también en Europa se ha seguido un desarrollo paralelo en la mejora de rendimiento económico por la aplicación de presiones cada vez más altas, hasta 160 Kg./cm.² y temperaturas de 600° C. de vapor.

En la Central de Compostilla, primera gran central termoeléctrica que se planeaba en España, con potencia total superior a 50 000 KW, se suscitó, una vez resuelto el problema del combustible y potencia total, como hemos visto, la fijación de la presión de servicio.

Aun cuando hasta la fecha no se habían construído ni instalado en España centrales con presión superior a 30 Kg./cm.², puede observarse, con los gráficos adjuntos, que ya en la época en que se resuelven estos problemas, las presiones normales de servicio en el resto del mundo eran del orden de los 80 Kg./cm.². Esto inducía a la elección para esta Central de una presión de este orden, sugerida, en primer lugar, por la economía y mejor rendimiento, y en segundo, por el afán natural de instalar unas máquinas modernas en todo sentido.

Es necesario, por lo tanto, justificar por qué se eligió la presión de servicio de 45 Kg./cm.². Existen dos razones casi conjuntas, que justifican plenamente esta elección, y que informan toda la concepción de conjunto del esquema térmico de la Central. Estas son: *seguridad y sencillez en el servicio*

Esta seguridad y esta sencillez se buscaban en una serie de factores, y entre ellos, el de no llevar a cabo extrapolación muy grande en las presiones habitualmente usadas en España, y el hacer factible con dicha presión, en que aún es posible la construcción de elementos con aceros ordinarios, la fabrica-



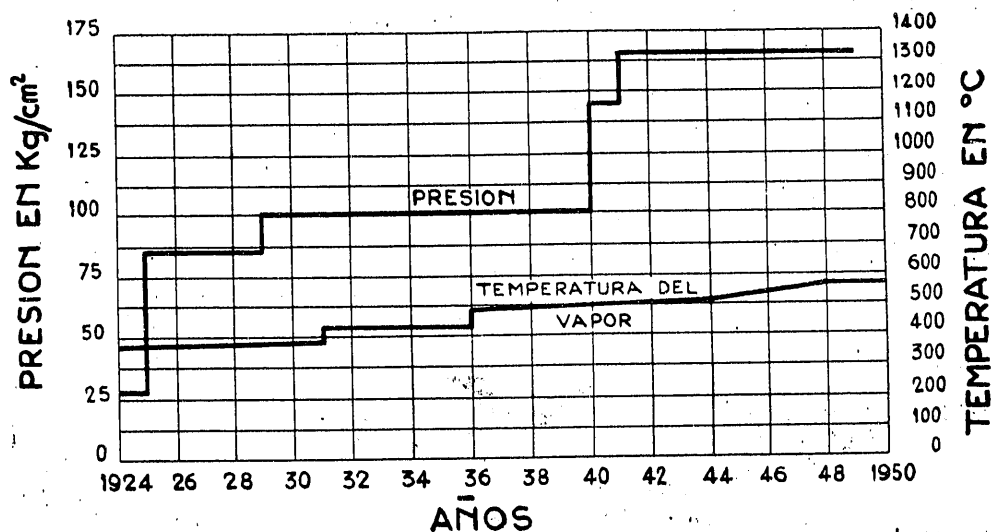
Variación del consumo de vapor con la presión de servicio.

ción de repuestos en España. Junto a estas razones figuran, al mismo tiempo, las que se basan en que, por ser la Central de Compostilla una central de bocamina que ha de quemar carbones baratos y con poco transporte, no interesa primordialmente tanto el factor de rendimiento, sobre todo si éste se compara o enfrenta con el de seguridad y sencillez en el servicio antes apuntado. Estas razones no justificarían, en cambio, el anteponer la presión media y su seguridad a un mejor rendimiento, en una central urbana o que tuviese que quemar granos de elevado coste y a gran distancia de las minas.

Calderas.

Los tipos clásicos de calderas, y una vez generalizado el empleo de las acuotubulares, han venido influenciados por la necesidad de generar vapor a mayor presión, en unidades mayores y con mejor rendimiento.

Son interesantes a este respecto, aquellas calderas en que, por resultar muy caros los tambores de agua y vapor, por la elevada presión, se han ido haciendo cada vez más pequeños, con casi nula acumulación de vapor y llegando así a su supresión, para dar paso



Variación de la presión y temperatura máximas normales en las calderas de vapor.

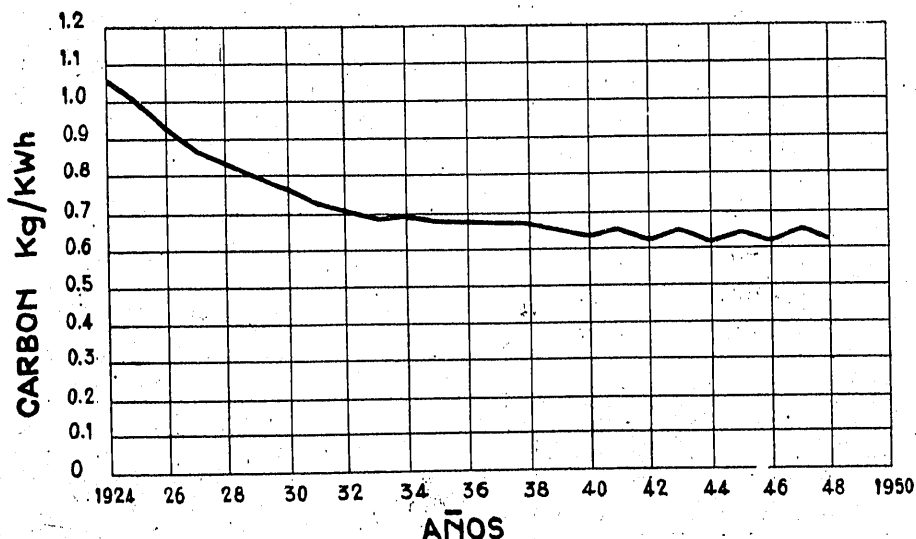


Gráfico de la variación del consumo de carbón (granos de hulla) en los últimos veinticinco años. A partir de 1942 permanece, prácticamente, estacionario.

a las calderas monotubulares, sin tambores y con circulación forzada. Se han obtenido así ciclos de calderas y turbinas que llegan a un rendimiento de conjunto del 82 por 100, con contrapresión, y del 30 al 40 por 100, con condensación.

Paralelamente se ha conseguido también un aumento en el tamaño y capacidad de producción de las calderas, que hasta no hace muchos años no pasaba de 30 Tn. de vapor-hora, lo que determinaba de forma obligada la instalación de varias calderas por cada turboalternador, mientras que en la actualidad se construyen con potencia y capacidad de más de 400 Tn. de vapor/hora, que significa más de 75 000 KW.

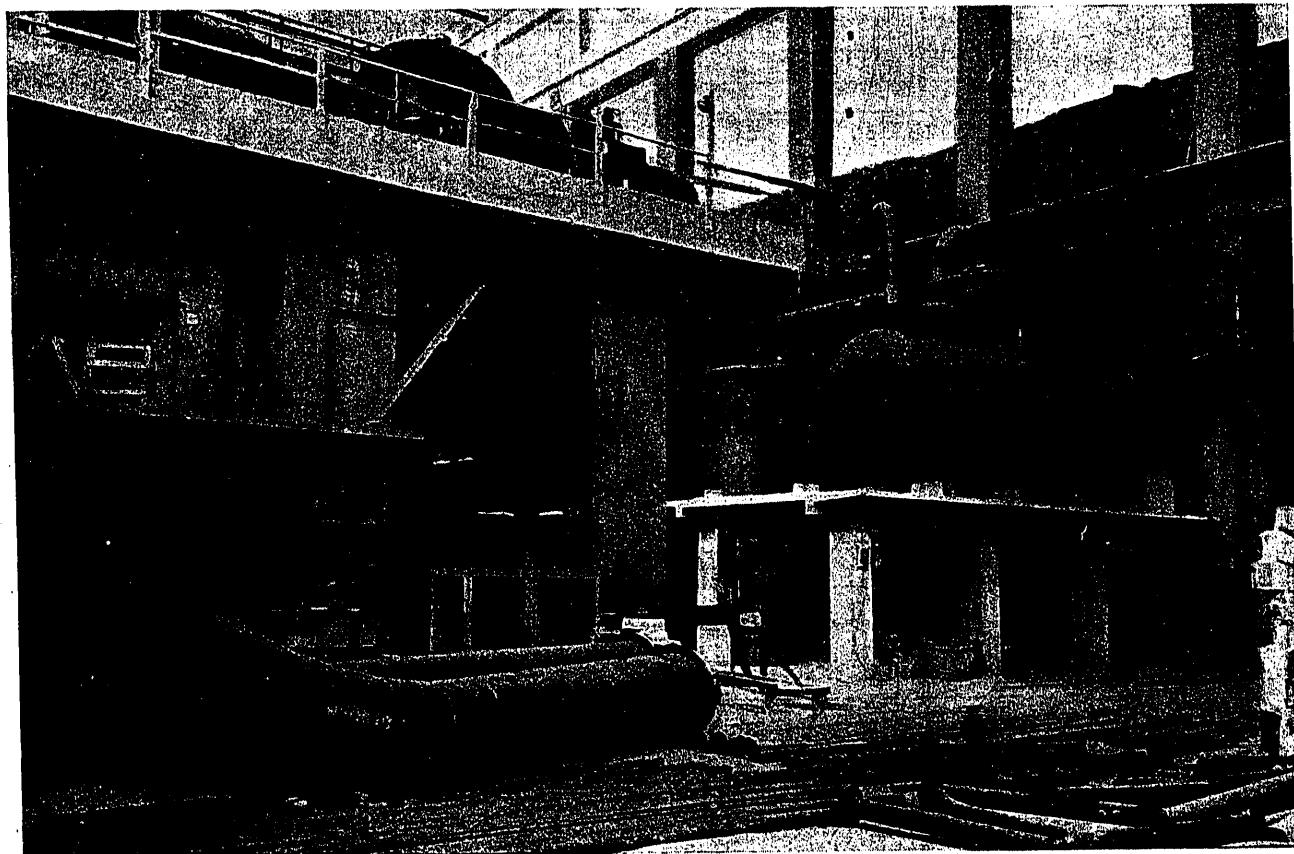
En 1930 se montaron una serie de instalaciones con calderas a la intemperie. Este sistema, que tiene una indudable economía, unida a una serie de inconvenientes de explotación, se ha vuelto a utilizar recientemente, teniendo por causa el elevado costo de los edificios o naves de calderas.

Como hemos visto ya, desde 1935 viene siendo práctica habitual el proyecto de una caldera para cada turbo, una vez que se consiguió la construcción de grandes calderas con elevada capacidad de producción de vapor.

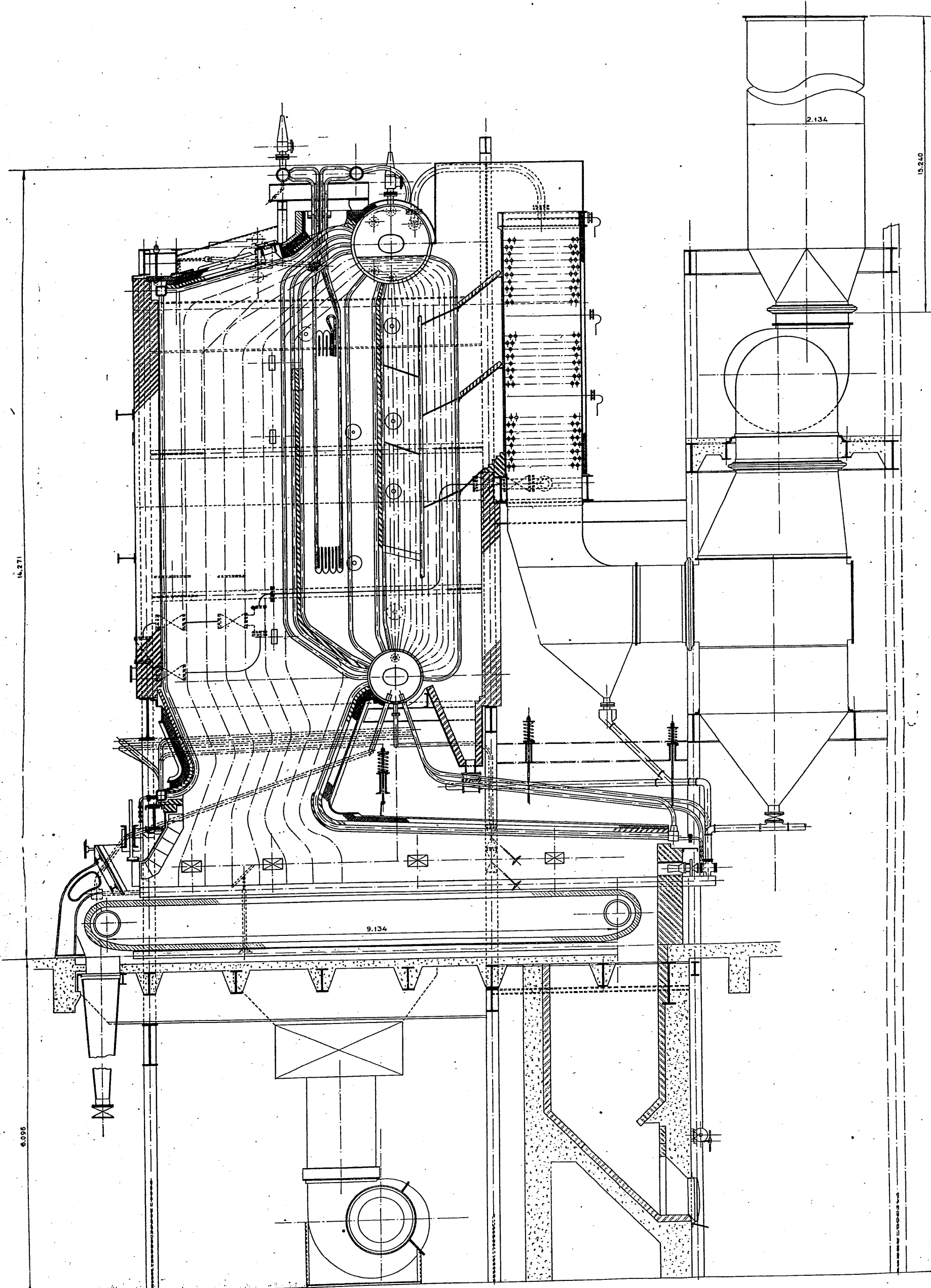
En la Central de Compostilla, sin embargo, se ha elegido la solución de instalar dos calderas por turbo. Esto se justifica porque las calderas son máquinas que, en su normal funcionamiento, requieren frecuentes paradas por pequeñas averías, repasos, etc., y, por lo tanto, es necesario disponer de más elementos de reserva en calderas que en turbinas. En Ponferrada se ha proyectado e instalado, para dos grupos turbo-generadores de 25 000 KW, cinco calderas, con las cuales la reserva es solamente de medio grupo; pero además se ha proyectado cada caldera con un exceso de capacidad de producción de vapor del 25 por 100 sobre los 12 500 KW de medio grupo. Consideramos muy práctica y económica la solución adoptada, y de la cual tenemos un ejemplo reciente, cuando con tres calderas en servicio hemos podido producir, en una jornada, 1 025 000 Kw-h, lo que significa casi una potencia media de 45 000 KW.

Tipo de calderas. — Las calderas de Compostilla (1), en número de cinco para la etapa actual, se representan en la figura adjunta. Son del tipo acuo-

(1) De Combustion Engineering Co., EE. UU.



Vista del segundo grupo desde la planta de condensadores, durante el montaje. A la derecha, la plataforma de precalentadores y el vaporizador.



16.271

8.096

Sección transversal de una de las calderas de Compostilla, para 78 Tn. de vapor/hora.

tubulares, de dos tambores y tubos múltiples acodados, con paredes hidrostáticas, recalentamiento y economizadores, parrilla plana móvil y tiro artificial forzado e inducido, separadores de polvo y de hollín. Otras características son las siguientes:

Producción de vapor en carga máxima continua.....	68,1 Tn.-hora
Idem id. en carga normal.....	56,7 "
Presión del vapor recalentado (normal)	45,7 Kg./cm. ²
Idem id. máxima.....	49,2 "
Temperatura del vapor recalentado.....	440° C.

Rendimiento térmico medio del conjunto en carga normal.....	83 %
Superficie de parrilla.....	54,7 m. ²
Volumen del hogar.....	222 m. ³
Superficie de calefacción de la caldera.....	1 442 m. ²
Idem id. de las paredes hidrostáticas.....	265 "
Idem id. del recalentador.....	292 "
Idem id. del economizador.....	936 "

Es interesante comentar las razones que condujeron a la elección de este sistema, especialmente en lo referente a la parrilla móvil frente al carbón pulverizado. Para ello se llevó a cabo un estudio, en el cual

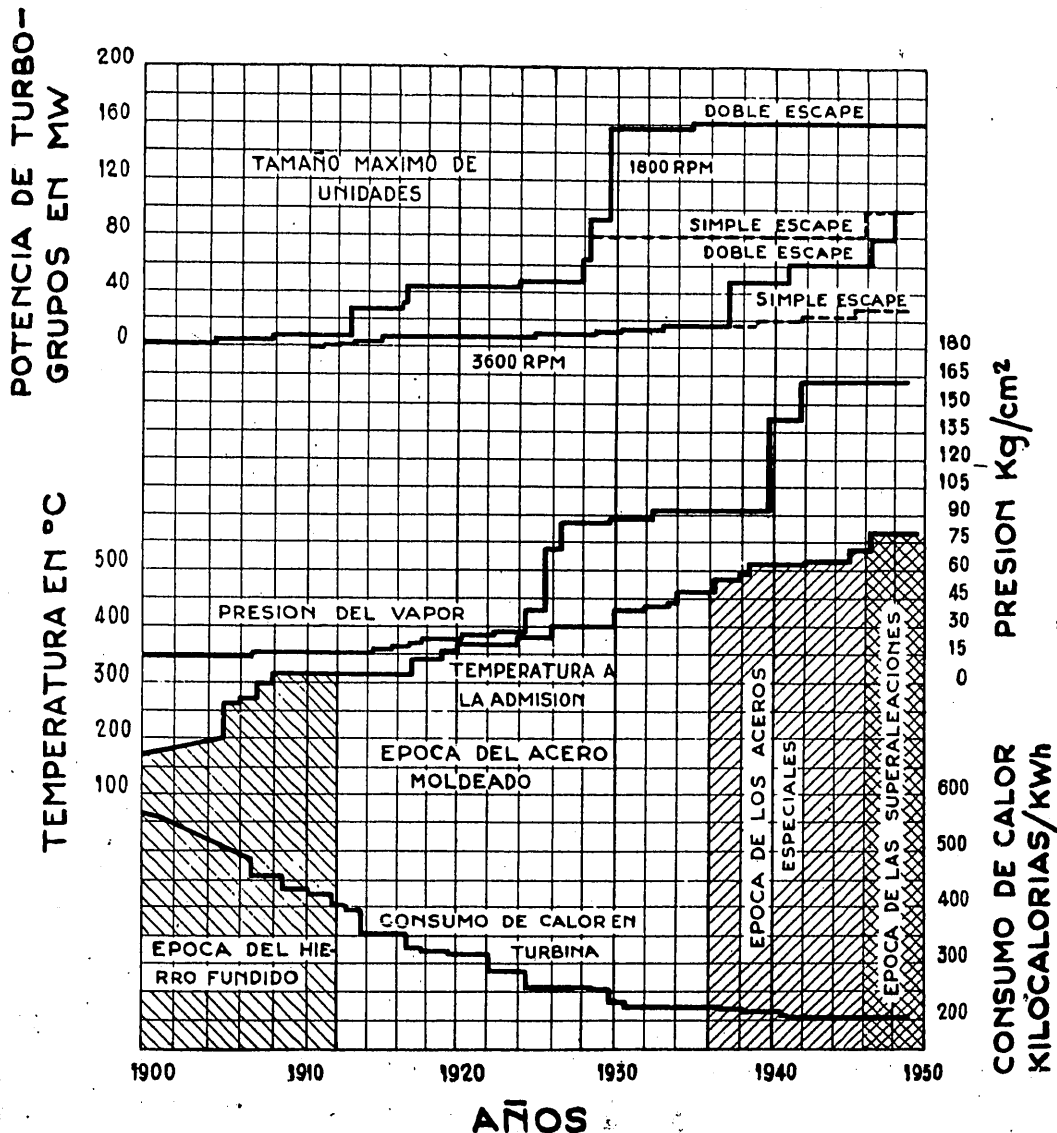
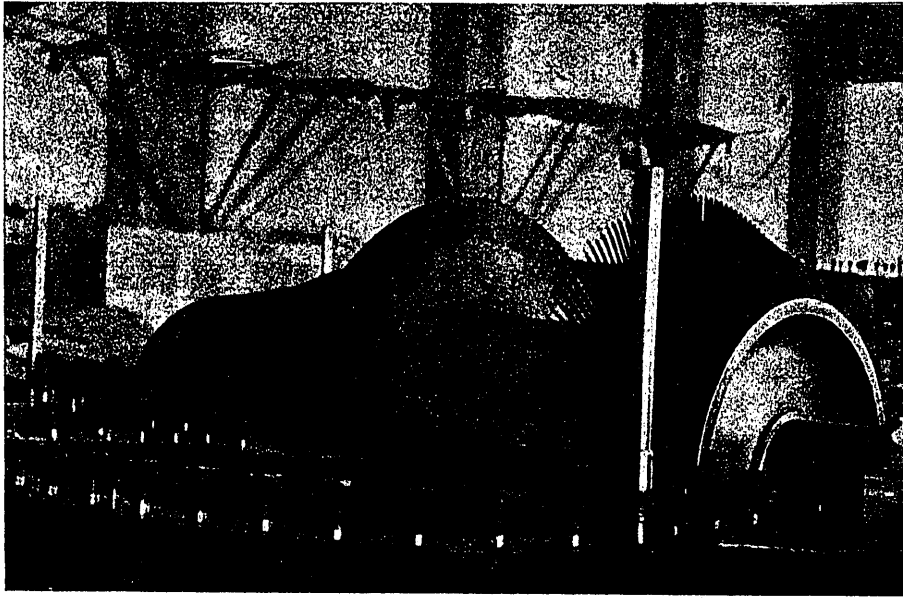


Gráfico histórico que resume la variación de los diversos elementos principales en la técnica de la generación eléctrica por vapor.



Rodetes de media y baja presión de una turbina.

No es éste el caso en centrales del tipo de Compostilla, y entonces se elige la tensión de generación desde el punto de vista de los alternadores, barras y aparellaje o equipo. Aquéllos son más económicos al aumentar la tensión, y éste más caro.

Como resultante de estas condiciones, se llegó en Compostilla a fijar la tensión de generación en 11 KV, pero es sabido que, en ocasiones, se ha fijado ésta hasta en 36 KV, y no parece lejano el día en que se construyan alternadores con una tensión de generación de 66 KV.

se compararon las ventajas de uno y otro sistema, considerando siempre el tipo de carbón y consumo y las características de funcionamiento de la Central, decidiéndose finalmente por la parrilla, por considerar este sistema como más seguro, sin peligro de explosiones, más clásico para el personal, con mayor elasticidad en cuanto a admitir mayor heterogeneidad de carbones y no necesitar instalación de preparación, costo inicial más bajo y menor necesidad de reposición de la fábrica de refractario por tener temperaturas más bajas, y a pesar de ser la instalación con carbón pulverizado de mejor rendimiento y aprovechamiento del carbón y menos inquemados y tener más elasticidad de servicio, pues permite atender cambios bruscos en la demanda de vapor, así como una rápida parada o puesta en marcha.

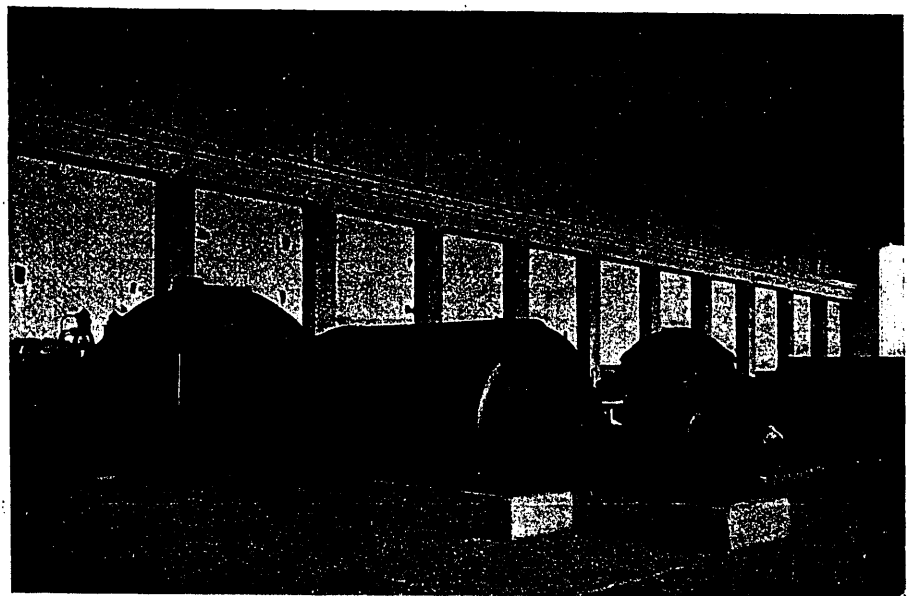
Turbogeneradores.

Tensión de generación. —

En aquellas centrales en que, como en las de carácter urbano, se lleva a cabo la distribución a la misma tensión de generación, aquel factor influye de modo determinante en la elección de ésta.

Número y potencia de los grupos. — La velocidad de servicio de los turbogeneradores está relacionada en el alternador con la frecuencia y con el número de pares de polos del mismo. De esta manera se pasó, en Europa, de 1 500 a 3 000 r. p. m., y en Norteamérica, de 1 800 a 3 600 r. p. m., reduciendo el número de pares de polos y consiguiendo, en cambio, por la reducción de materiales y el espacio ocupado, grupos más económicos y que alcanzan más rápidamente su velocidad de régimen.

Desde 1938 es práctica habitual en los EE. UU.



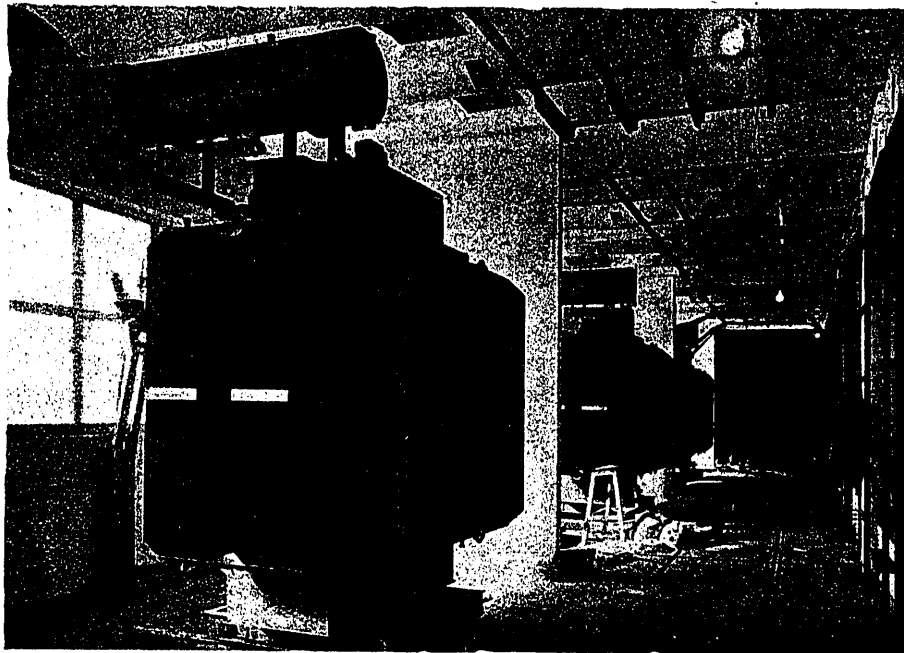
El primer grupo turboalternador montado en mayo último.

la refrigeración de los alternadores por hidrógeno.

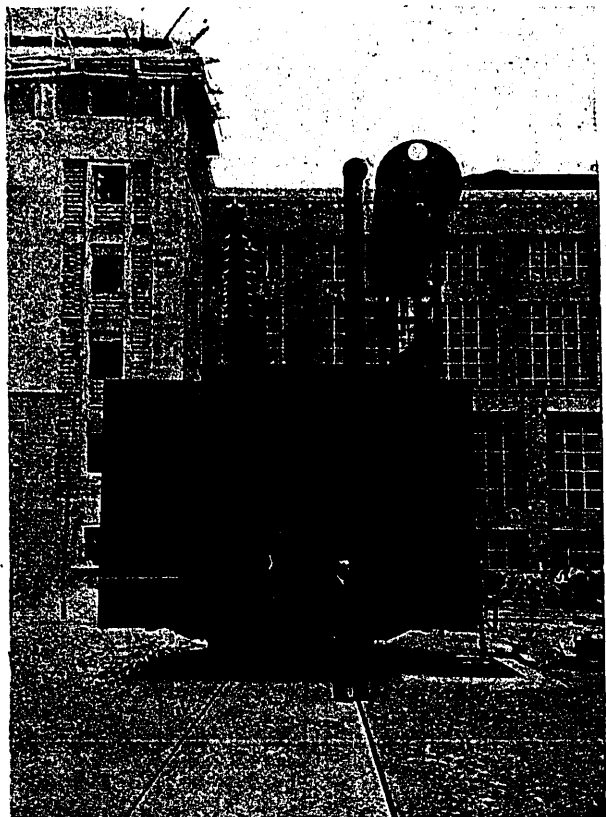
Hacia 1941 se llegó a los grupos de 65 y 85 Kg./cm.², con temperaturas del vapor de 485° C., mientras que en 1946 se alcanzó ya a temperaturas de 560° C., con turbinas de 3 600 r. p. m. y potencias de 100 000 KW.

Las posibilidades de aumento de potencia de los grupos estaban limitadas por el enorme tamaño que, a partir de aquí, alcanzaba el cilindro de baja presión, lo que se ha evitado recientemente con la construcción de turbinas con escape doble. Hasta 160 000 KW se ha llegado con grupos de 1 800 r. p. m. y temperaturas de vapor de 510° C.

No podemos dejar de citar el notable avance que ha



Transformadores de 2 500 KVA. para servicios auxiliares.



Modelos transformadores principales de 32 500 KVA., poco antes de su instalación.

tenido en los últimos tiempos la turbina de gas desde que hace más de veinticinco años se construyó la primera con vapor de mercurio.

Estas turbinas se han construido normalmente para potencias no muy elevadas y con combustible de gas o aceite pesado, habiéndose ensayado recientemente para carbón pulverizado. Es una solución típicamente aconsejable en los casos en que existe escasez de caudal de agua de refrigeración.

Por cuanto antecede, parece observarse una tendencia general en el mundo a aumentar la potencia de las unidades generadoras. Se observa, además, el mayor rendimiento que se obtiene con las mismas con la simple inspección de la figura que se reproduce adjunta, en la que se indica el consumo de vapor en kilogramos por Kw-hora para diversas potencias y en función de la carga en cada caso.

Sin embargo, no puede efectuarse la elección de la potencia de cada grupo en una central, sin un conocimiento del régimen de servicio de la misma, que puede inducir a solución de grupos más pequeños en mayor número, en apariencia antieconómica, pero que permite un escalonamiento de su puesta en servicio en relación con la variación de potencia en cada momento y la máxima instalada.

En Compostilla, partiendo de una potencia en primera etapa de 50 000 KW, la solución de dos grupos de 25 000 KW para la primera etapa es perfectamente lógica y sencilla de comprender, por cuanto significa

una solución intermedia y desde luego superior a un solo grupo de 50 000 KW o tres de 16 666. Más aún lo es si consideramos las primitivas ideas de potencia total en ampliación de 75 000 KW.

Tipo de grupo elegido (1). — Turbinas de dos cilindros o cuerpos: la primera, con una rueda de acción y un rodete de reacción de alta presión; la segunda, con un rodete de media y uno doble de baja presión. Cada turbina se equipa con 4 válvulas de admisión y regulador de velocidad de aceite a presión, regulador de seguridad independiente, bomba de aceite accionada mediante engranaje por la misma turbina y bomba auxiliar accionada por turbinilla de vapor para arranque y parada.

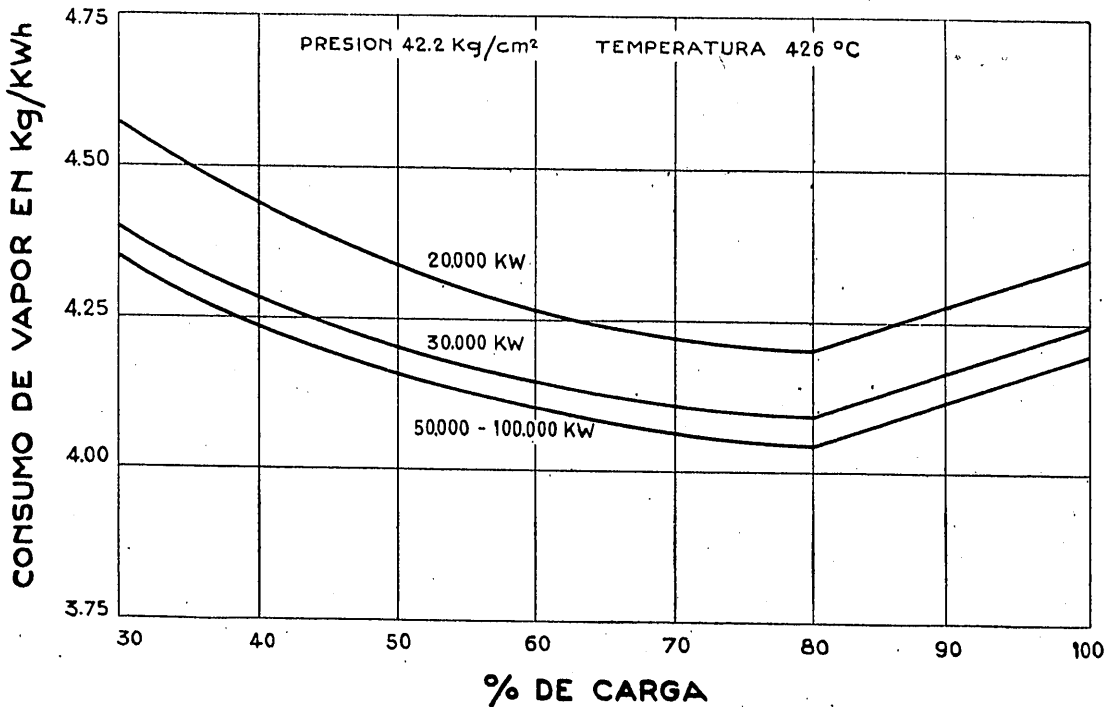
Potencia continua máxima.....	35 000 CV
Idem económica	28 000 "
Velocidad	3 000 r. p. m.
Consumo de vapor a plena carga,	
con recalentamiento.....	4,13 Kg./Kw-h.
Idem íd. al 80 % de carga.....	4 "
Consumo de calor a plena carga.....	2 680 cal./Kw-h.

(1) De Brown Boveri, Suiza.

Condensadores del tipo de superficie de dos partes independientes, para agua dulce, tubos de latón y envolvente de chapa, estánd proyectados para un vacío aproximado de 0,04 Kg./cm.². Requieren un caudal de refrigeración de 5 500 m.³/hora.

Alternadores de tipo trifásico con arrollamiento de cobre y conexión en estrella, con seis bornas, acoplamiento directo a la turbina, ventilación separada por aire en circuito cerrado, que requiere un volumen de aire de 100 m.³/h., que a su vez se refrigera por agua. Disponen de señales de alarma accionadas a 80° C., por termostato situado en el canal de aire caliente, e instalación de incendio por ácido carbónico, que funciona, asimismo, de modo automático por termostato graduado a 100° C.

Capacidad	31 250 KVA
Potencia máxima, cos φ = 0,8.....	25 000 KW
Tensión	11 000 V
Rendimiento a plena carga con cos φ = 0,8	97,7 %
Idem íd. con cos φ = 1.....	98,2 %
Excitación a 171 V y potencia.....	73,5 KW
Idem auxiliar a 180 V.....	0,9 "
Caudal de aire necesario para la ventilación, en circuito cerrado.....	17,5 m. ³ /h.



Consumo típico de vapor en turboalternadores.

Esquemas.

Una vez definidos los ejes de la Central, como hemos visto anteriormente; conocido el combustible a emplear, la potencia total, presión y temperatura del vapor y los tipos de máquinas principales, es llegado el momento en el estudio del proyecto de una central para fijar los esquemas de la instalación, tanto en su aspecto térmico como en el eléctrico.

En la descripción que hacemos de nuestra instalación, y antes de proseguir el estudio del resto de sus elementos, consideramos oportuno seguir un orden análogo y explicar los esquemas fundamentales.

Esquema térmico o de vapor. — La disposición clásica de una central es la de una nave de calderas en que se alojen todas estas unidades generadoras de vapor, y una nave de turbos para los grupos; calderas y turbinas se unen mediante tuberías de vapor, existiendo colectores que sirven para la interconexión de los diversos elementos. Al mismo tiempo, análoga disposición se establece en cuanto al servicio de bombas de alimentación mediante tuberías colectoras de agua que permiten la interconexión de los elementos de alimentación con las diversas calderas. Este método se ha considerado hasta hace poco como más seguro, por permitir el empleo indistinto de medios de alimentación, calderas y turbos, en el caso de quedar fuera de servicio por averías o inspección alguno de ellos.

La tendencia moderna, que tiene su expresión más acusada es la llamada caldera Velox, que para pequeñas potencias se instala en la misma nave, junto al propio turbogenerador, consiste en el sistema unitario o bloque sin interconexión, esto es, con comunicación única entre alimentación, caldera y turbina. El fundamento de este sistema es precisamente la falta de confianza en que el complicado conjunto de tuberías, válvulas, etc., a que se confía la interconexión, dé, por sus posibilidades propias de averías, garantía suficiente para el fin que se pretende. Esto es, dicho en pocas palabras, que se confía más la seguridad a la sencillez que a la reserva con un esquema más complejo.

Cuanto decimos, naturalmente, tiene su máxima aplicación en centrales proyectadas para elevadas presiones y temperaturas, y siempre menos, naturalmente, para las de presiones medias. Esta circunstancia y la intención de no salirse, en lo posible, de las normas clásicas, ha inducido a llevar a cabo el proyecto de la Central de Compostilla, bajo el primitivo sistema

de interconexión, más obligada en nuestro caso por haber elegido dos calderas por turbo. En el esquema adjunto puede apreciarse la disposición general adoptada y cuyos elementos fundamentales pueden, asimismo, estudiarse claramente, ahorrando cualquier explicación. Se observa la existencia de colector de vapor y colectores de agua de alimentación.

Maquinaria auxiliar. — La principal está constituida por los grupos de bombas de alimentación, que son tres motobombas y un grupo turbobomba de reserva (1), con las siguientes características:

Motobombas:

Caudal	162 m. ³ /h.
Altura manométrica.....	580 m.
Velocidad	2 950 r. p. m.
Motor asíncrono trifásico con rotor de anillos rozantes a.....	500 V
Potencia	350 KW

Turbobomba:

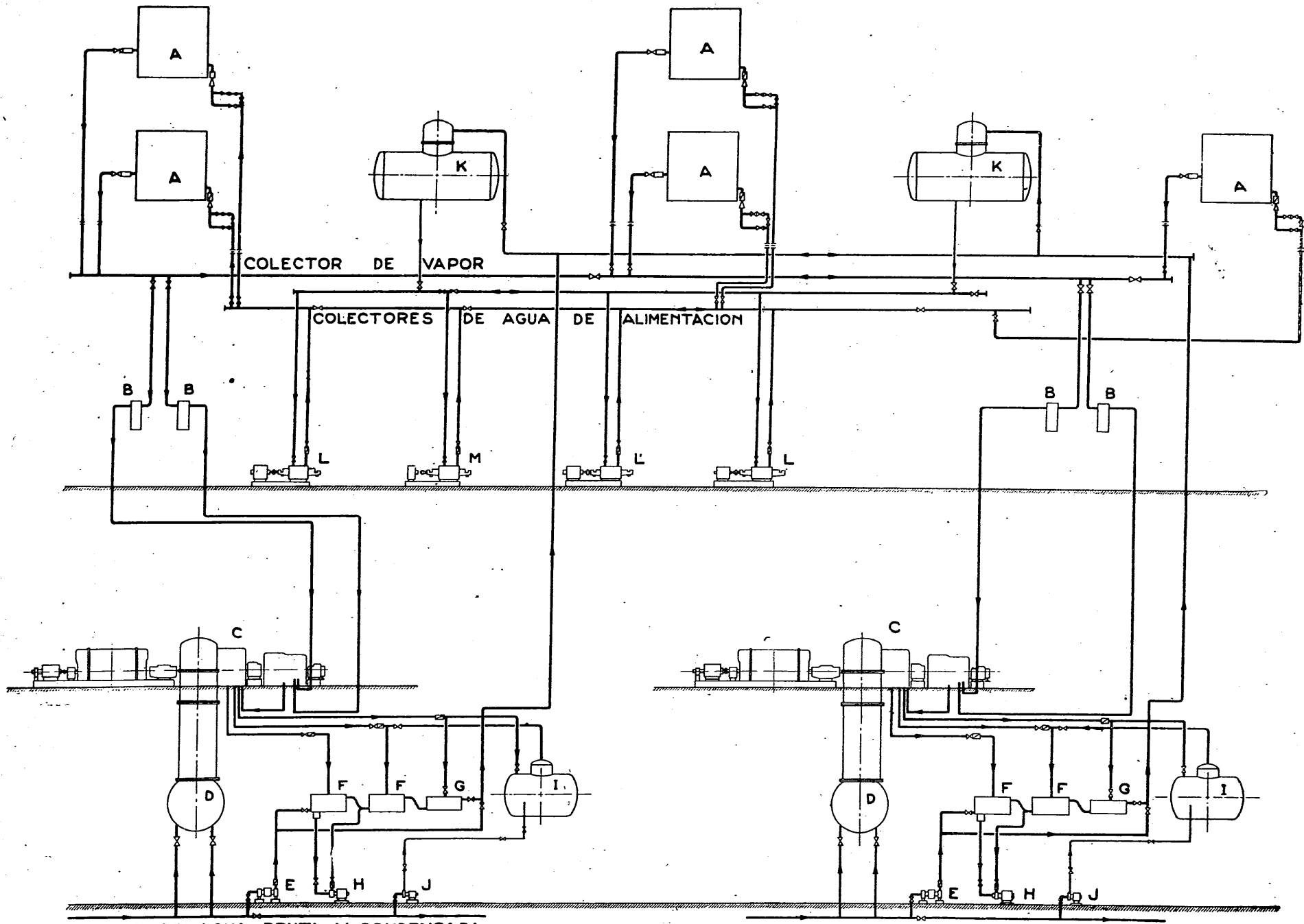
Presión en la válvula de admisión.....	47,4 Kg./cm. ²
Temperatura de admisión.....	440° C.
Velocidad en el acoplamiento.....	2 950 r. p. m.
Potencia	430 CV

Instalación asimismo fundamental es la de precalentamiento y vaporización, y también han de considerarse dentro de este apartado todas las bombas, eyectores, ventiladores y motores de accionamiento de las instalaciones de condensación, refrigeración, ventilación, tiro de calderas (alguno de los cuales llega a la potencia de 400 CV), engrase, etc.

Esquema eléctrico. — Se ha seguido en la concepción de este esquema, asimismo, el principio de la interconexión. Este esquema es distinto para la primera y segunda etapa de realización de la Central.

Puede verse el esquema para la primera etapa, formado por las dos máquinas generadoras de 31 250 KVA, que pueden trabajar directamente sobre los transformadores de igual potencia de 11/132 KV, o sobre un sistema de barras dobles de 11 KV al cual se acoplan, asimismo, las dos primeras máquinas de 25 000 KVA de la Central de la Fuente del Azufre,

(1) De Sulzer, Suiza.



TUBERIA DE AGUA BRUTA Y CONDENSADA

ESQUEMA TÉRMICO

A, calderas; B, purgador; C, turboalternador; D, condensador; E, bomba de agua condensada; F, precalentador a baja presión; G, precalentador a media presión; H, bomba de precalentadores; I, vaporizador; J, bomba de agua bruta; K, depósito de agua de alimentación; L, bomba de alimentación; M, turbobomba de alimentación.

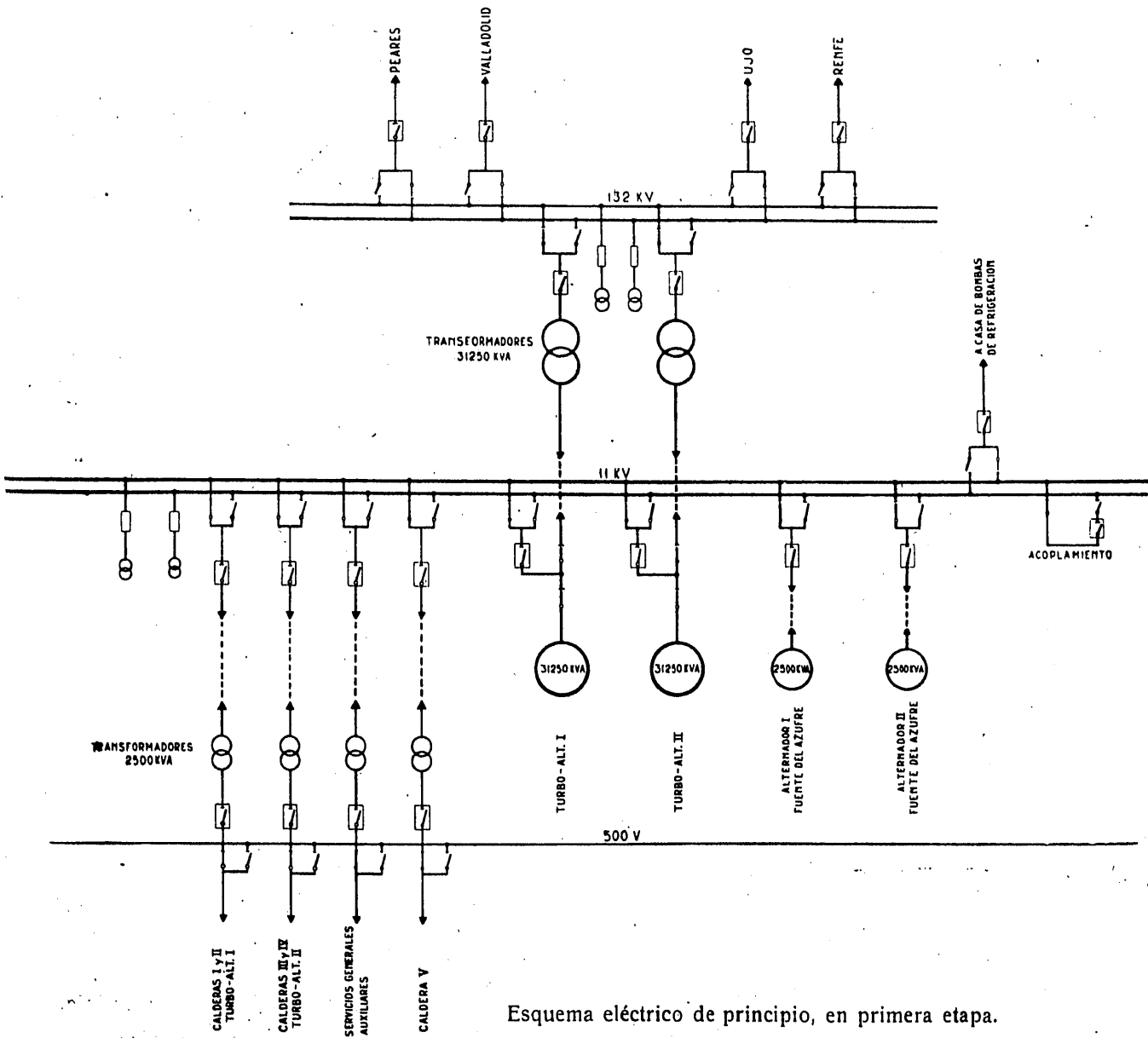
correspondiente al salto de pie de presa. De este sistema de dobles barras 11 KV sale una línea para la casa de bombas de refrigeración en estiaje, conectándose al mismo los cuatro transformadores de 11/0,5 KV y 2500 KVA para servicios auxiliares. Queda así citada la tensión de 500 V elegida para los mismos como equilibrio entre la que requerían económicamente las elevadas potencias instaladas y una sencillez y seguridad en el servicio.

El parque de alta tensión tiene, asimismo, un doble sistema de barras a 132 KV, e instalándose dos trans-

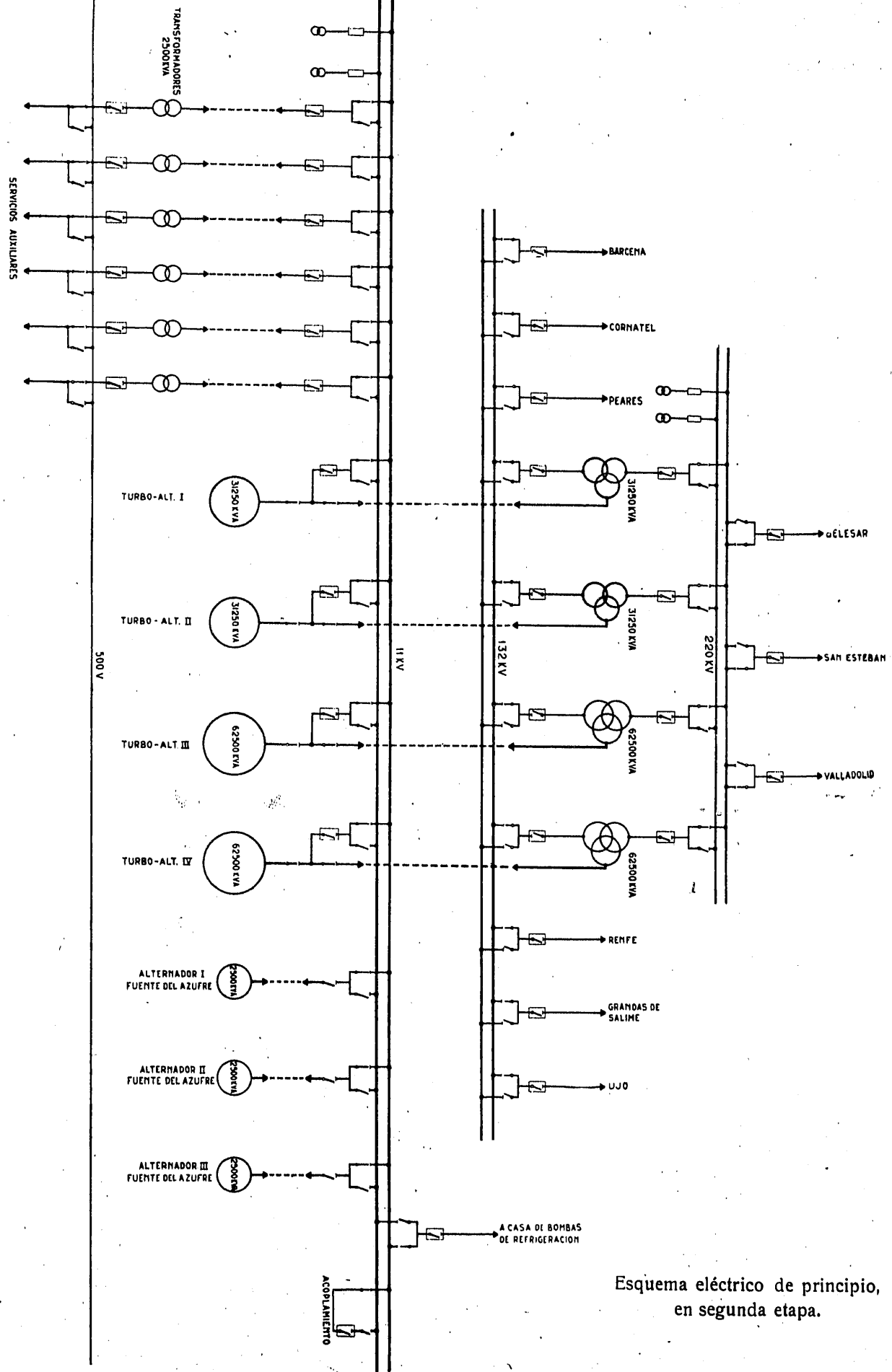
formadores trifásicos (1) tipo intemperie de las siguientes características:

Capacidad	31 250 KVA
Regulación en carga del lado de 132 KV	± 10 %
Conexión	triángulo-estrella.
Rendimiento a plena carga con $\cos \varphi = 1$	99,6 %
Peso total con aceite.....	114,8 Tn.
Ventilación por aire, forzada por ventiladores desde los 2/3 de carga.	

(1) De Metropolitan Vickers, Inglaterra.



Esquema eléctrico de principio, en primera etapa.



Esquema eléctrico de principio, en segunda etapa.

En la segunda etapa, cuyo esquema asimismo figura adjunto, se cuenta con la instalación de dos nuevas máquinas generadoras de 62 500 KVA en Compostilla, así como el tercer grupo de la Fuente del Azufre. Se sustituyen los transformadores de dos arrollamientos 11/132 KV por otros de tres arrollamientos 11/132/220 KV, permitiendo así disponer de un doble parque con barras colectoras a las dos tensiones de 132 y 220 KV para las líneas a diversas distancias y potencias.

Equipo o aparellaje. — Nos limitaremos a citar brevemente las características principales del equipo instalado en la primera etapa:

Los interruptores de 132 KV son del tipo neumático ultrarrápido para montaje-intemperie, con tensiones nominales de 150 KV y de ensayo 350 KV; intensidad nominal, 600 A, y capacidad disruptiva, 2,500 MVA; el tiempo propio de desenganche es de 0,07 segundos.

Los interruptores de 11 KV son, asimismo, neumáticos ultrarrápidos, para montaje interior y una capacidad disruptiva de 700 MV (1).

Instalación de mando y control. — Esta instalación está formada por los cuadros y pupitres de maniobra para el servicio de los alternadores principales y de la Fuente del Azufre, transformadores principales, salidas de línea, acoplamiento y sincronización auto-

mática, así como para las protecciones contra sobrecargas, cortocircuito, sobretensiones, diferencial y puesta a tierra en estator y rotor para los alternadores, relés direccionales en transformadores y protección selectiva para cada salida de línea.

La instalación de aire comprimido, realizada con sujeción a las rigurosas normas prescritas para estas instalaciones, tiene como máquinas principales dos compresores para 33,6 m.³/hora a la tensión de 30 atmósferas.

Disposición general.

Intencionadamente dejamos el estudio o descripción de la disposición general de las máquinas para el próximo artículo, en que se trate del proyecto de edificio.

Tributo obligado de justicia es hacer constar la inteligente labor desarrollada por el Ingeniero Marcial Campos, en el estudio de la mayor parte de la maquinaria citada y de los esquemas generales.

(1) Con objeto de no alargar excesivamente las presentes notas, suprimimos la descripción de otros elementos, remitiendo a quien tenga interés en conocer con detalle las características completas de esta maquinaria al folleto publicado por la Empresa Nacional de Electricidad, S. A., en diciembre de 1946.