

EVOLUCION DE LAS PLANTAS
"TERMO-ELECTRICAS"

519

viene pag.
13 de 1957

II. CENTRALES "DE RESERVA"
(Continuación)

Dr. Emile Girard,
Profesor de la Facultad.

En DYNA de Noviembre 1957 vimos, en resumen, la evolución de las plantas térmicas y las consecuencias de las interconexiones respecto al papel que desempeñan las plantas térmicas. Es indispensable distinguir de una manera muy clara las dos funciones de estas plantas, son esencialmente distintas:

1. Una planta de reserva debe poder intervenir inmediatamente falle uno de los elementos de producción o de transporte de la energía, y por consiguiente conservar "reservas" de potencia inmediatamente disponibles. Esta función de emergencia puede ser asumida por plantas hidráulicas, pero tiene mayor importancia en cuanto a las plantas térmicas porque estas últimas están generalmente situadas en la vecindad de los centros de consumo.

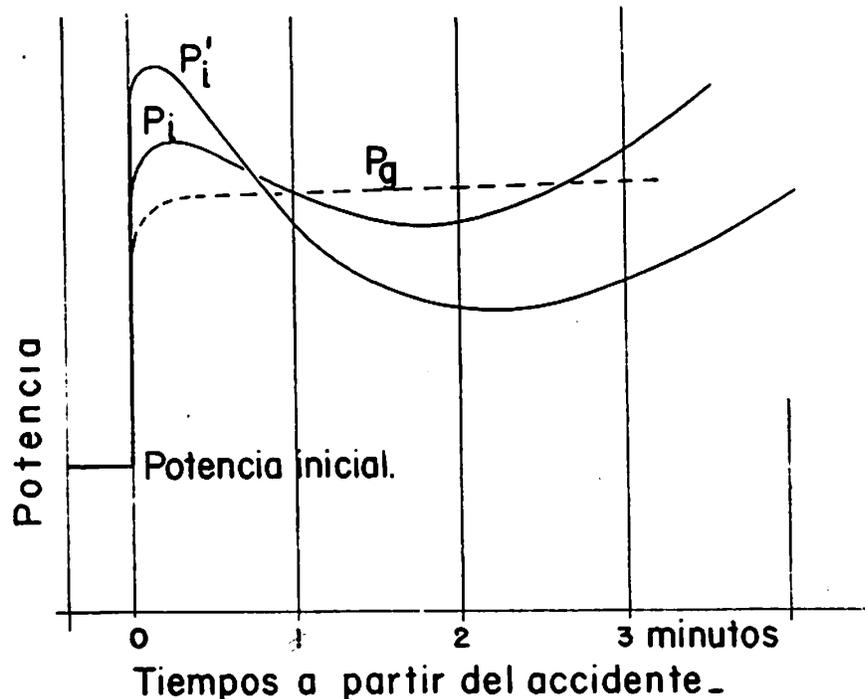
2. Una planta de punta debe regularizar el suministro de la energía hidráulica, es decir trabajar con carga variable, en ciertos casos debe poder arrancar y pararse frecuentemente para hacer frente a las "puntas" del diagrama de carga de la red general. Esto requiere un equipo que llamaría "elástico", que puede ponerse a trabajar rápida y económicamente.

Estos requisitos implican equipos distintos: la puesta en marcha instantánea requiere generadores de vapor con una reserva calorífica importante, por lo contrario las plantas de "punta" requieren un equipo con una inercia calorífica reducida.

I. RESERVAS INMEDIATAS.

Para precisar el concepto de "reservas inmediatas" basta estudiar lo que ocurre cuando un accidente provoca la suspensión de ser-

vicio de uno de los elementos de producción. La potencia de las unidades que siguen alimentando la red general aumenta instantáneamente, su inercia compensando la falla de potencia. Luego, la frecuencia disminuye y en un lapso de uno a tres segundos los reguladores abren las válvulas de las turbinas, la potencia de las unidades restantes alcanza el valor P_1 . En este momento las calderas que las alimentan sufren una baja de presión, ya que durante los segundos que siguen al accidente el suplemento de calor transformado en energía sólo puede obtenerse de la reserva calorífica del agua contenida en dichas calderas. La aceleración de la combustión restablece luego la presión a su valor inicial, a la vez que mantiene la nueva potencia aumentada. Sin embargo es posible que durante el período de baja de presión las turbinas no pueden mantener la potencia P_1 alcanzada inicialmente, se observa una inflexión de la curva de potencia (Fig. 1). La potencia garantizada debe entonces definirse como sigue: la potencia alcanzada o excedida en los pocos segundos necesarios para el funcionamiento de los reguladores y abajo de la cual la carga no debe bajar en ningún momento a pesar de la caída de presión de las calderas”.



1.- Diagrama de la potencia durante la puesta en marcha _____

Para una misma aceleración de la combustión, si se aumenta la potencia absorbida por las turbinas durante los primeros segundos, de P_1 a P'_1 , se provoca una mayor caída de presión y por consiguiente se disminuye la potencia garantizada. Para determinada combinación

caldera-turbina existe una potencia P_g muy definida que es la mayor potencia que puede garantizarse con dicha combinación. Este valor máximo se obtiene manteniendo constante la potencia P_g alcanzada durante los primeros segundos, mediante la apertura progresiva de las válvulas, y esto de manera que a apertura máxima de sus válvulas las turbinas permitan obtener la potencia P_g precisamente en el momento de máxima caída de presión. Es indispensable dotar las válvulas de limitadores de apertura que impiden la absorción de un caudal de vapor demasiado grande durante los primeros segundos siguientes a un accidente.

Se ve que las reservas inmediatas dependen esencialmente del equipo de calderas. Por otra parte, en ciertos casos la construcción de las turbinas puede también limitar estas reservas, principalmente en lo que se refiere al comportamiento de las chumaceras de empuje y a las variaciones admisibles de la temperatura.

Determinación de la potencia de reserva inmediata.

El excedente $Q_t - Q_c$ del calor acumulado suministrado a las turbinas sobre el calor acumulado suministrado por la combustión, a partir del momento de la sobre-carga, es igual al calor Q_r extraído de la reserva calorífica de los generadores de vapor. Este último es una función conocida de la pérdida o caída de presión $p_o - p$ dentro de las calderas; principia por crecer y luego pasa por un máximo en el momento de presión mínima p_m . Suponiendo conocida la variación del régimen de combustión en el tiempo, a cada valor de la potencia neta inmediatamente alcanzada P corresponde una curva Q_t , es decir un valor del mínimo de presión. Se tiene así: $p_m f(P)$. Por otra parte como las válvulas están completamente abiertas en el momento del mínimo de presión, p_m es igual a otra función conocida $\psi(P)$ de P . La intersección de ambas curvas $f(P)$ y $\psi(P)$ determina la potencia garantizada P_g .

Supongamos que el caudal calorífico cedido al fluido crezca linealmente en función del tiempo a partir de un instante t_r . Tomando como origen de los tiempos el momento del accidente, y C_o siendo el caudal calorífico inicial, tenemos:

$$Q_c = C_o t + a \int_{t_1}^{t_2} (t - t_r) dt = C_o t + \frac{(t - t_r)^2}{2}$$

El caudal calorífico absorbido por las turbinas será en forma de $a' + \beta' P$ en el cual las constantes a' y β' se calculan teniendo en cuenta el consumo de los equipos auxiliares y las diversas pérdidas,

para el conjunto del equipo considerado. Si P_d es la potencia inmediatamente antes del accidente:

$$Q_t = [C_o + \beta'(P - P_d)]t$$

El mínimo de Q_r ocurre en el tiempo t_m :

$$t_m = t_r + \frac{\beta'(P - P_d)}{a}$$

$$\text{y su valor es: } Q_{rm} = \beta'(P - P_d) \left[t_r + \frac{\beta'(P - P_d)}{2a} \right] \quad (1)$$

Por otra parte, la presión adentro de la caldera es, con la apertura máxima de las válvulas y a entalpía constante del vapor, una función lineal de la potencia neta producida, en estas condiciones el caudal es proporcional a la presión: $p = a + \beta P$.

Si suponemos en primera aproximación que Q_r es proporcional a la caída de presión e igual a: $e(p_o - p)$, basta reemplazar en (1) Q_{rm} por $e\beta(P_m - P)$, P_m siendo la potencia máxima que pueden suministrar los grupos turbo-alternadores a la presión inicial, para obtener la potencia garantizada $P = P_g$.

La relación $e\beta/\beta'$ tiene las dimensiones de un tiempo y podemos designarla por t_s . Es una constante de tiempo del sistema considerado como un acumulador de energía. Efectivamente, e/β' representa la energía eléctrica producida por los turbogeneradores a plena apertura de las válvulas a expensas de la reserva calorífica de las calderas, para una caída de presión unidad; $1/\beta$ representa la disminución de la potencia que puede obtenerse de los grupos generadores para esta misma caída de presión; t_s es, entonces, igual a la relación entre la energía extraída del sistema y la caída de potencia posible correspondiente. Si se admite que la capacidad de una caldera de presión p sólo depende del peso de agua G que contiene, supuesto constante, e es aproximadamente igual a: $G\Delta\lambda_e/0,01 p$, $\Delta\lambda_e$ siendo la disminución de entalpía de un kilo de agua, por cada ciento de caída de presión. Como:

$$p = a + \beta P_m \quad \text{y} \quad q_m(\lambda_v - \lambda_a) = a' + \beta' P_m$$

q_m siendo el caudal de vapor correspondiente a la potencia máxima, λ_v y λ_a las entalpías del vapor producido y del agua de alimentación, supuestas constantes. si $a/\beta = a'/\beta'$:

$$t_s = 100 \frac{G\Delta\lambda_e}{q_m(\lambda_v - \lambda_a)}$$

Se llama frecuentemente "capacidad de acumulación relativa" r la relación entre la cantidad de vapor extraído de la reserva de agua por cada ciento de caída de presión y la cantidad máxima de vapor que pueden producir las calderas; si esta capacidad máxima corresponde a la carga máxima de los grupos generadores, $t_s=100$ r. Esta hipótesis supone λ_n proporcional a G/q_m y creciendo con la presión. Por ejemplo: λ_n correspondiendo al precalentamiento del agua a un cuarto de carga y la temperatura del vapor sobrecalentado siendo de 500 grados C. tendríamos $100\Delta\lambda_e/(\lambda_v-\lambda_n) = 0,096$ para 30 kg/cm² y 0,162 para 90 kg/cm² a la entrada de las turbinas (10% más en las calderas). Los valores correspondientes de t_s , para $G/q_m = 0,3$ horas son 104 y 175 segundos.

Haciendo intervenir la potencia P_n correspondiente a la producción máxima de las calderas y la duración t_d del crecimiento del régimen de combustión hasta su valor máximo desde el instante t_r :

$$t_d = \beta' (P_n - P_d) / a$$

La ecuación (1) se transforma, después de hacer las substituciones:

$$y = \frac{P_g - P_d}{P_m - P_d} \quad \gamma = \frac{P_n - P_d}{P_m - P_d}$$

en la siguiente: $t_d y^2 + 2\gamma(t_s + t_r) y - 2\gamma t_s = 0$ (2)
que da y , es decir la potencia garantizada.

Si la potencia garantizada encontrada por el método anterior correspondiera a una vaporización de las calderas superior a su capacidad máxima de régimen, esto indicaría que las válvulas no se abren a su máximo, aun cuando se mantenga la potencia al valor correspondiente a esta vaporización máxima. Entonces es esta última la que constituiría la potencia garantizada.

Más exactamente es preciso hacer intervenir los diferentes fluidos contenidos en las calderas: agua a la temperatura de saturación, emulsión presente en los tubos vaporizadores, vapor saturado, vapor sobrecalentado. (Una parte del agua, cuya temperatura es inferior a la de saturación correspondiente a su presión, no participa a la capacidad de reserva). El papel del vapor saturado no es despreciable, y el de la emulsión es muy importante, porque la proporción de vapor mezclado al agua crece con el suministro del generador. Si designamos por G, V, λ los pesos, volúmenes y entalpías de estos varios fluidos, tenemos:

$$Q_c = \Sigma(G\lambda) - \Sigma(G\lambda)_0 + \int_0^t (q\lambda_v - q_a \lambda_a) dt - A\Sigma V(p - p_0)$$

siendo q el caudal de vapor suministrado y q_a el caudal de alimentación. La entalpía λ_a queda prácticamente constante durante el lapso de sobrecarga porque el aumento de temperatura del agua precalentada no tiene el tiempo necesario para influir a la entrada de los economizadores, por el "efecto de volante" de las tuberías, o por lo menos a la entrada a la caldera. Puede suponerse que pasa lo mismo con λ_v y designarse por Q_t la integral:

$$\int_0^t q(\lambda_v - \lambda_a) dt$$

que no debe confundirse con el consumo de los grupos, considerados aisladamente. La relación anterior se vuelve:

$$Q_r = Q_t - Q_c = \Sigma(G\lambda)_o - \Sigma(G\lambda) - A\Sigma V(p_o - p) - (\Sigma G_o - \Sigma G)\lambda_a \quad (3)$$

Q_r es función no solamente de la presión pero también del caudal, debido a la cantidad variable de vapor contenido en el agua. Para subsanar esta dificultad, podemos evaluar Q_r como la suma de dos términos: el primero Q_{r1} (que no corresponde a realidad física alguna) representa la cantidad de calor extraída de los generadores, a la presión inicial y para un suministro que alcanza inmediatamente el caudal absorbido con la apertura total de las válvulas; el segundo Q_{r2} representa la variación de Q_r en función de la presión para un suministro que varía proporcionalmente a la presión: este caudal será, entonces, exactamente igual al suministro real en el momento de presión mínima. Estos dos términos son fácilmente calculables según (3) si se supone que el nivel se fija a una altura dada, conociendo los volúmenes de agua y de vapor contenidos en las distintas partes del equipo generador de vapor en función del suministro.

En realidad cuando se presenta el aumento de carga sube el nivel por el aumento de volumen del vapor contenido en los tubos vaporizadores y esta subida de nivel puede hasta limitar las posibilidades de hacer frente a una sobrecarga instantánea. Pero el nivel se estabiliza luego antes del momento de presión mínima. Esto significa que Q_{r1} y Q_{r2} pueden calcularse como si el nivel quedase constante. En el caso de tener que efectuar una extracción para compensar la subida repentina del nivel, esta intervención puede tenerse en cuenta para determinar Q_{r1} . El cálculo de Q_{r2} se facilita preparando previamente gráficos que indican las variaciones de G y de $G\lambda$ para 1 m^3 de los varios fluidos, en función de la presión.

$$\text{Podemos poner: } Q_{r2} = e_1 (p_o - p) + e_2 (p_o - p)^2$$

$$\delta = e_2 \beta (P_m - P_d) / e_1$$

$$t_n = Q_{r1} / \beta' (P_m - P_d)$$

Puede decirse que t_n representa el tiempo durante el cual la potencia P_m podría obtenerse sin caída de presión, merced al aporte de la cantidad de calor Q_{r1} .

La ecuación (1) se transforma (naturalmente t_s tiene aquí un valor inferior al que tenía en dicha ecuación) en:

$$(t_d/2\lambda - \delta t_s)y^2 + [t_s(1+2\delta) + t_r]y - [t_s(1+\delta) + t_n] = 0 \quad (4)$$

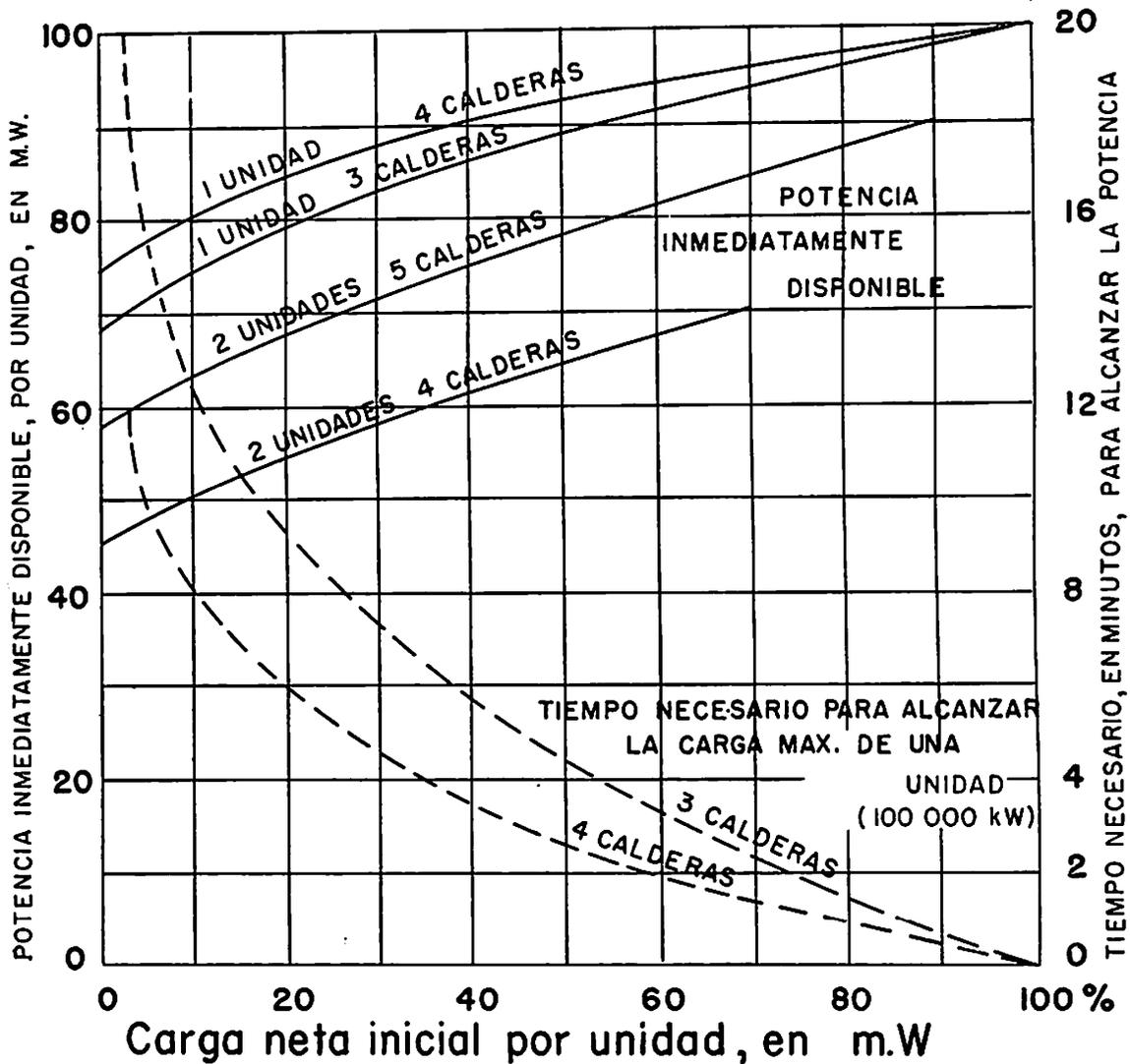
Aun mejorado en esta forma, el cálculo anterior sigue despreciando varios factores importantes: variación del calor contenido en las paredes metálicas de los generadores de vapor y en el economizador, puesta en régimen de las turbinas y de los equipos de recalentamiento, ley exacta del incremento del régimen de combustión con el tiempo. Sin embargo permite obtener un valor suficientemente aproximado de la potencia garantizada, en la mayor parte de los casos.

Cuando se trata de una instalación existente, es preferible verificar experimentalmente los resultados, comprobar las posibilidades de sobrecargas rápidas, en la forma siguiente: Estando la unidad conectada a la red de distribución y dando una potencia P , se descuadra el regulador de su posición de equilibrio sin intervenir sobre el compensador de carga de manera a reducir la potencia a P_d . Luego, una vez establecido el régimen se deja que la regulación se efectúe por sí misma. La unidad alcanza entonces, casi inmediatamente, la potencia P , y mediante aparatos registradores de alta velocidad se registra la variación en función del tiempo de la presión del vapor, de su temperatura y de la potencia; esta última se mantiene tan constante como sea posible. Se obtiene, para cada instante, el calor suministrado por la combustión por diferencia entre el calor absorbido por la unidad y el calor extraído de la reserva de agua de la caldera. Puede entonces calcularse la potencia "garantizada" P_g por el método general indicado, garantía que puede verificarse por un ensayo de arranque a dicha potencia.

CURVA DE LA POTENCIA GARANTIZADA

Al determinar, para cada potencia inicial, la potencia que puede asegurarse inmediatamente se obtiene para una combinación de equipo conocida una curva que representa la potencia garantizada en función de la potencia inicial. La ilustración (2) muestra estas curvas para una planta de 2 unidades de 100.000 kw, con 6 calderas produciendo 200 toneladas-hora a 29 kg/cm² y a 400 grados C. a la entrada a las turbinas; calefacción con gas natural, en Los Angeles, California. Estas curvas son de mayor importancia para determi-

nar que clase de equipo poner en servicio para asegurar una carga determinada. Pueden completarse, como ilustrado, por curvas que representan el tiempo necesario para alcanzar la carga máxima de las turbinas; este tiempo es el requerido para restablecer a su valor normal la presión del vapor en los generadores.



2. Reservas inmediatas garantizadas _____

PLANTA ELECTRICA CON 2 UNIDADES DE 100 000 kW c/u,
6 CALDERAS DE 200 TONELADAS/HORA — VAPOR A 29 KG/CM²
Y 400° C. A LA ENTRADA A LAS TURBINAS —

AUMENTO DE LA POTENCIA DE RESERVA INMEDIATA POR "RESERVA CALORIFICA"

La resolución de la ecuación (3) muestra que y es una función creciente de t_s , de t_n , de γ . El primero de estos parámetros está influenciado por la reserva de agua principalmente. Por razones de

economía la construcción de las calderas ha evolucionado en el sentido de una reducción constante del volumen de agua; esto va en contra de las necesidades de potencia de reserva. Alrededor del año de 1920, la relación entre el peso de agua y la vaporización horaria máxima pasaba de 2; en 1931 se reduce alrededor de 0.5, actualmente y según el tipo de caldera varía entre 0,07 y 0,25, y en las calderas de circulación forzada en circuito abierto alcanza un valor supremamente reducido. De paso debe observarse que en el caso particular de calderas Benson alimentando turboalternadores a presión variable, una bajada de frecuencia en la red actúa no sobre el suministro de vapor sino sobre el régimen de combustión mediante un dispositivo automático, directa o indirectamente por intermedio de un regulador de la presión de salida de las turbinas de alta presión. La potencia generadora no puede aumentar instantáneamente sino progresivamente y de acuerdo con el aumento del régimen de combustión. Las calderas de circulación forzada en circuito abierto necesitan instalaciones complementarias de acumuladores de vapor importantes. En las calderas convencionales la elevación de presión corrige la influencia del volumen de agua. En las plantas térmicas destinadas a mantener una reserva inmediatamente disponible no deben instalarse calderas con un volumen de agua demasiado exiguo. Por otra parte durante el servicio a carga reducida la presión debe mantenerse tan alta como sea posible.

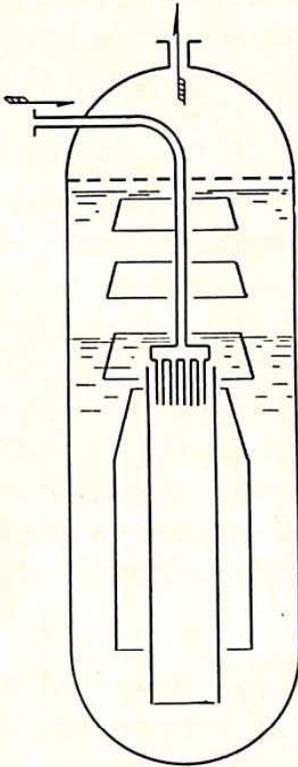
La influencia de t_n que puede ser de la misma magnitud que t_s , también es importante; t_n es mayor cuando la temperatura del agua de alimentación es baja y cuando la proporción de vapor en los tubos vaporizadores varía rápidamente con la carga; esta variación es más importante para las calderas de circulación forzada. Sin embargo debe evitarse que conduzca a la "pérdida del nivel de agua", lo que obligaría a "purgar" las calderas, es decir a disminuir t_n . En estas condiciones se requiere cámaras de vapor de gran volumen, también puede preverse tanques de vapor comunicando con las tuberías de retorno de agua condensada en los cuales el exceso de agua se derrama en el momento del aumento de potencia demandada. De todas maneras siempre es conveniente, durante la marcha a régimen de reserva mantener bajo el nivel del agua en las calderas.

Respecto al factor γ , es conveniente mantener en servicio un número de calderas superior al estrictamente necesario para asegurar la potencia máxima de las unidades en marcha continua. La ilustración hace visible este requisito. En las calderas de circulación forzada en circuito cerrado se opera en la forma siguiente: durante la marcha normal a carga reducida una parte del agua de circulación de la caldera atraviesa el economizador y al momento de la puesta a régimen máximo este aporte se interrumpe inmediatamente. La

cantidad de calor extraída de la reserva calorífica del economizador alcanza entonces un valor considerable.

ACUMULADORES DE VAPOR

La reserva calorífica disponible inmediatamente puede aumentarse con la instalación de acumuladores de vapor en la sala de calderas. En los primeros modelos estos acumuladores no eran más que recipientes comunicados con las calderas, pronto se vio que era ventajoso especializarlos y hacerlos funcionar a presión variable. Uno de los tipos de más uso es el "Ruths", representado en el esquema (3), que funciona a presión variable y no suministra vapor a la admisión de las turbinas principales sino a las turbinas de baja presión o a las entradas intermedias de las turbinas principales. La separación anular provoca una circulación intensa durante el período de descarga.



3. Acumulador vertical.

La cantidad de agua que se vaporiza durante la descarga de un acumulador a presión variable, para 1 kg. de agua contenida en el acumulador bajo presión, se calcula sin tener en cuenta el vapor contenido, con:

$$(\lambda_v - \lambda_a) dx = -(1-x) (d\lambda_a - A v_a dp)$$

dx siendo la vaporización correspondiente a una variación de presión dp, λ_v y λ_a las entalpías del vapor y del agua, v_a el volumen específico del agua. Tenemos entonces:

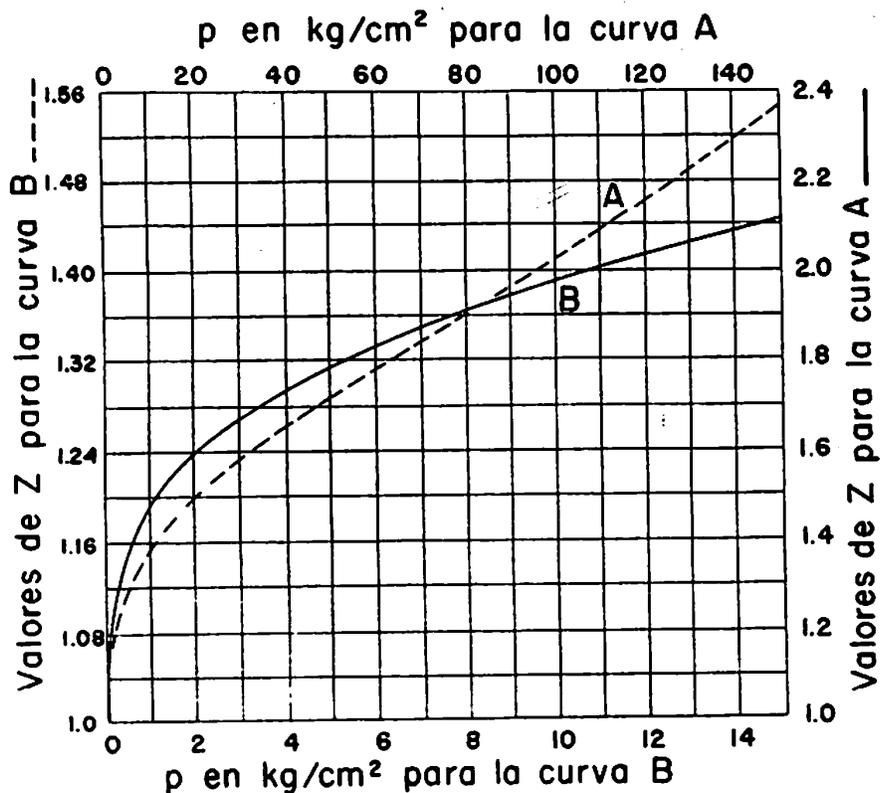
$$x = 1 - e^{\int_{p_i}^{p_2} \frac{d\lambda_a - A v_a dp}{\lambda_v - \lambda_a}} = 1 - \frac{Z_2}{Z_1}$$

con la función Z que puede calcularse de una vez: el gráfico (4), para la determinación de la cantidad de agua vaporizada en un acumulador dado, y para una variación conocida de presión, da los valores de Z

$$Z = e^{\int_0^p \frac{d\lambda_a - A v_a dp}{\lambda_v - \lambda_a}}$$

Ya que la demanda de vapor en el momento oportuno requiere un suministro superior al correspondiente a la alimentación es necesario

aportar una cantidad adicional de agua al acumulador durante este lapso.



4 — Cantidad de agua vaporizada para una variación de presión en un acumulador —

En una instalación de presión mediana los acumuladores funcionan entre 15 y 3 kg/cm² y son cargados por las calderas que alimentan la turbina de dos etapas. Cuando crece la carga, el regulador accionado por la presión del vapor directo disminuye la admisión de vapor procedente de las calderas y aumenta el suministro del vapor acumulado, que alimenta una toma intermedia de la turbina. El grupo generador puede así suministrar instantáneamente un excedente de potencia sin baja de presión en las calderas. En caso de bajada de la carga, toda elevación de presión en las calderas se evita mediante la apertura de una válvula de descargue que dirige el excedente de vapor no utilizado hacia los acumuladores.

Una instalación de este tipo, conjugada con calderas de emergencia de puesta en marcha rápida, permite limitar el número de calderas en pleno servicio durante la marcha a carga reducida de una planta térmica, es decir obtener una economía de explotación. Basta que la duración de la puesta en marcha de las calderas de emergencia no exceda la duración de la descarga de los acumuladores. Es el caso de una planta de Amsterdam, cuyos acumuladores a

15 kg/cm² permiten alimentar durante media hora las turbinas a baja presión con una carga de 25.000 kW. (las unidades a alta presión trabajan a 75 kg/cm²). Las calderas de emergencia, calentadas con fuel oil pueden ponerse bajo presión en corto tiempo y vienen a reemplazar la producción de los acumuladores.

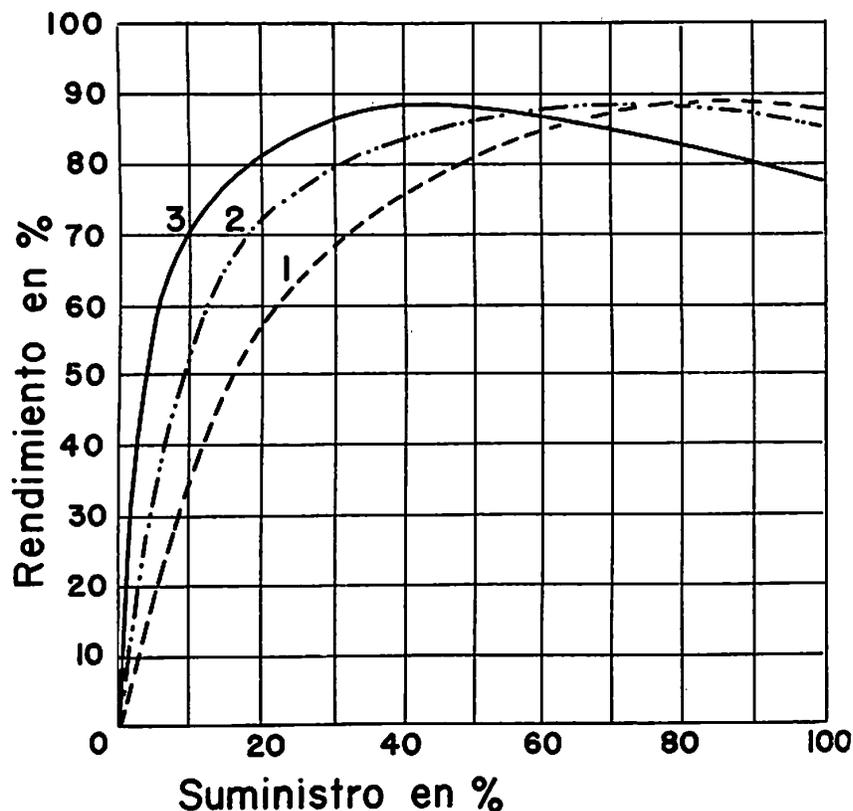
En Malmoe se adoptó una disposición diferente: la planta de reserva tiene sus calderas normalmente paradas y los acumuladores se mantienen bajo presión mediante una caldera auxiliar eléctrica. Estos acumuladores funcionan entre 8 y 2 kg/cm². y alimentan un turbogenerador sin carga. En el caso de un incidente en la línea de energía hidroeléctrica, un relevo de tensión abre la válvula de admisión y la unidad suministra a la red la energía necesaria, los acumuladores alimentan, según sus presiones, las diversas etapas de la turbina. Al mismo tiempo las calderas se ponen en marcha y luego vienen a relevar los acumuladores; cuando la normalidad se restablece en la red se aísla la unidad y las calderas recargan los acumuladores antes de suspender su servicio de emergencia.

En los ejemplos anteriores los acumuladores solo alimentan las turbinas con vapor saturado y a una presión inferior a la de las calderas. fuera de la complicación de las turbinas resulta una merma apreciable del rendimiento del ciclo del vapor, disminución que se agrava si los acumuladores se usan también como reguladores de la carga de las calderas. Es la razón por la cual los acumuladores de alta presión resultan frecuentemente más ventajosos, aunque su instalación sea más costosa inicialmente. La planta de Sinmering, en Viena, puede tomarse como ejemplo.

Puede suministrar inmediatamente una potencia de reserva de 30.000 kW. Tiene una caldera La Mont de 100 toneladas/hora a 36 kg/cm² y una batería de acumuladores que pueden suministrar durante 4 minutos un caudal de 120 toneladas/hora con una caída de presión de 121 a 36 kg/cm². Seis de estos acumuladores son reservas propiamente dicho, los dos restantes trabajan como sobrecalentadores. En marcha normal la caldera trabaja a carga reducida, alimentando solamente una unidad auxiliar de 5.000kW. Los acumuladores se mantienen bajo presión por un intercambiador de calor atravesado, total o parcialmente por el vapor a 400 grados C. que alimenta la unidad auxiliar y recalienta el agua de los dos acumuladores de sobrecalentamiento. Esta agua circula en circuito cerrado por medio de una bomba. El vapor saturado generado en estos dos acumuladores pasa a los otros acumuladores. Una caldera auxiliar suministrando vapor a 130 kg/cm² a 450 grados C., de circulación forzada y calentada con fuel oil sirve para la carga de los acumuladores cuando están descargados, ya que el intercambiador de calor no tiene la capacidad suficiente.

En el momento de una demanda de carga instantánea de la planta, un relevo de frecuencia acciona el reductor de presión, el vapor de los seis acumuladores principales sale a 36 kg/cm², se sobrecalienta al atravesar los dos otros acumuladores y alimenta las turbinas principales. Al mismo tiempo la combustión de la caldera se acelera, en dos minutos alcanza su régimen de vaporización normal y releva los acumuladores. En resumen la instalación combinada de acumuladores y calderas de emergencia de arranque rápido es la que lleva a los menores gastos de explotación, pero es costosa la inversión inicial.

El mayor o menor interés que presenta la instalación de acumuladores de vapor depende esencialmente de la forma de las curvas de consumo de las calderas. (Ilustración 5). Independientemente de toda consideración de "reserva" se concibe que la economía de los gastos de combustible haga mantener calderas del tipo (3) con una carga unitaria relativamente reducida. Estas calderas tienen su rendimiento óptimo a baja carga, y es preferible poner en marcha un mayor número de calderas a sobrecargarlas. Por el contrario calderas del tipo (1) deben funcionar normalmente a plena carga.



5_ Rendimientos de varios tipos de calderas _____

Resulta que la marcha más económica implica reservas inmediatas importantes en el caso de las calderas (3) y reservas reducidas en el caso de las calderas del tipo (3). La instalación de acumuladores de vapor presenta menos interés en el primer caso que en el segundo, y en este caso la experiencia ha mostrado que los acumuladores son económicos solamente cuando las calderas de reserva pueden ponerse bajo presión rápidamente, en menos de 30 minutos en la generalidad de los casos. Puede concluirse que el uso de acumuladores de vapor para asegurar reservas inmediatamente disponible sólo es interesante cuando la potencia de reserva constituye una fracción importante de la potencia instalada y cuando están conjugados con calderas especiales de arranque rápido que conducen a una economía apreciable de instalación, en relación con las calderas corrientes, pero que ellas mismas no ofrecen posibilidad de reserva apreciable.

AUMENTO RAPIDO DEL REGIMEN DE COMBUSTION

En este caso son los parámetros t_d y t_r que intervienen. Para reducir el primero es necesario que en las instalaciones sin regulación automática de la combustión —generalmente plantas ya viejas— todos los mandos auxiliares estén al alcance inmediato del fogonero. Para reducir el segundo es conveniente una señal de alarma sonora accionada por un relevo de frecuencia.

La regulación automática de la combustión elimina la intervención personal del fogonero, pero no es siempre tan rápida como sería deseable. Puede utilizarse, en el momento de un aumento de carga, una graduación automática especial que lleva rápidamente los ventiladores aspirantes y soplantes a su velocidad máxima, así como lleva la alimentación en combustible a los valores correspondientes, pero con un pequeño atraso respecto a la aceleración de los ventiladores. El accionamiento de este dispositivo especial puede ser mediante un simple contacto de botón, accionado por el fogonero cuando suena la alarma, o mejor todavía el accionamiento puede ser automático, por medio de relevo de frecuencia o accionados por la apertura de las válvulas de las turbinas. Estos dispositivos permiten alcanzar el régimen de combustión máxima dentro de un plazo de 20 a 40 segundos. Para obtener un aumento rápido de la combustión es recomendable que los equipos auxiliares para aire de combustión, gases y combustible estén previstos con una capacidad superior a la que corresponde a la carga máxima de los generadores en marcha estable.

El caso de las calderas de carbón pulverizado que trabajan sin depósito intermedio subsiste una dificultad, a pesar de la regulación automática; la puesta en marcha de pulverizadores parados requie-

re de cincuenta a sesenta segundos y, generalmente, no es automática. Esta dificultad se subsana con la instalación de quemadores de fuel-oil liviano que no requiere precalentamiento y se entran y encienden con mando a distancia, se retiran y apagan cuando los pulverizadores suplementarios están trabajando. De paso conviene observar que los combustibles líquidos y sobre todo los gaseosos son mucho más indicados que el carbón para asegurar puestas en cargas rápidas. Es la razón por la cual se instalan con frecuencia quemadores auxiliares de fuel-oil o de gas natural sobre las calderas, de parrillas principalmente, destinadas a funcionar como reservas.

TURBINAS Y EQUIPOS AUXILIARES

Las turbinas de acción son más indicadas que las de reacción para hacer frente sin incidentes a las variaciones rápidas de carga. Las variaciones rápidas de temperatura deben evitarse, porque pueden provocar reducciones anormales del juego entre el estator y el rotor, el recalentamiento debe mantenerse constante a partir de una carga relativamente reducida y debe adoptarse temperaturas máximas moderadas. Cuando las calderas funcionan a carga muy reducida y la planta asegura una reserva inmediata, el termostato de control del recalentamiento debe graduarse de manera que, en caso de sobrecarga inmediata, la temperatura del vapor no suba de manera apreciable encima de la temperatura del vapor antes de producirse el incidente en las redes.

El cierre automático o por mando a distancia, de las extracciones o por lo menos de las extracciones de vapor a alta presión, permite aumentar sensiblemente las posibilidades de sobrecarga inmediata, ya que la potencia P_m para el suministro máximo de vapor se aumenta. Con el mismo fin puede suspenderse automáticamente la distribución exterior para calefacción, cuando existe.

Las válvulas deben estar provistas de limitadores de apertura, constituidos por topes graduables en marcha desde el tablero de mando central, para limitar la carga al valor requerido a pesar de la variación de presión de las calderas. Las turbinas deben tener empaquetaduras hidráulicas para evitar la maniobra de las válvulas de admisión de vapor a los recintos herméticos de los laberintos.

Las válvulas de extracción de vapor deben poder mantenerse a plena apertura, o por lo menos en una posición invariable, aun a carga reducida; si la estación de recalentamiento incluye un degasificador el paso de marcha normal a una extracción a mayor presión o el vapor directo debe hacerse automáticamente. Las bombas de extracción deben poder funcionar con caudal reducido. El nivel en

el condensador debe graduarse automáticamente por descargue de la bomba de extracción en un tanque auxiliar.

Para la marcha a carga reducida es ventajoso prever bombas de circulación de capacidad reducida; en este caso las bombas normales arrancan automáticamente en el momento de una sobrecarga.

Respecto a los equipos auxiliares es indispensable que una bajada de la frecuencia no pueda comprometer su funcionamiento. La solución de este problema con grupos auxiliares autónomos es la más segura pero la más costosa. Otras soluciones pueden adoptarse: por ejemplo la de un grupo auxiliar de emergencia que puede arrancar en pocos segundos, o también el accionamiento combinado de los auxiliares por motores eléctricos y turbinas, estas últimas siendo alimentadas automáticamente en el caso de la sobrecarga accidental.

EL MINIMO TECNICO

Para disponer del mayor margen posible de potencia de reserva en las unidades en marcha y para reducir el derrame en las represas durante los períodos de mayor disponibilidad hidráulica, conviene siempre reducir la potencia mínima que pueden asegurar las plantas de reserva en marcha estable, es el llamado "mínimo técnico". Los grupos turboalternadores pueden funcionar con una carga prácticamente nula, a condición de tomar algunas precauciones, principalmente para la refrigeración de los eyectores y la alimentación de los degasificadores. Para evitar las fluctuaciones de carga el "mínimo" técnico puede preverse un dispositivo que moviliza la regulación y la suelta solamente cuando la frecuencia baja de un valor predeterminado. Este mismo dispositivo se utiliza durante la marcha a régimen económico para evitar la necesidad de un margen de regulación antes de la apertura de las válvulas de emergencia.

Para las calderas alimentadas por carbón pulverizado, el "mínimo técnico" depende sobre todo del tenor en materias volátiles del carbón usado. Puede reducirse con el empleo de aire muy caliente y de hogares poco enfriados, así como con la instalación de quemadores auxiliares, eventualmente de fuel-oil, que funcionan solamente durante los períodos de emergencia, cuando hay necesidad de movilizar las reservas disponibles.

Este estudio, superficial y resumido, de los diversos problemas que se presentan para estudiar las plantas térmicas destinadas a constituir, total o parcialmente, una reserva inmediatamente disponible muestra que se debe proceder con cuidado. No todas las plantas térmicas pueden considerarse como reserva de emergencia, para asegurar este servicio eficazmente requieren tener ciertas características parti-

culares que quisimos poner de relieve. Con el desarrollo constante de nuestras industrias, del consumo de energía eléctrica y de muchas de sus aplicaciones especiales, el problema de la constancia del servicio adquiere importancia. Para muchas aplicaciones las variaciones accidentales de frecuencia y de voltaje son perjudiciales y las empresas productoras y distribuidoras de energía tienen la obligación de suministrarla sin variaciones apreciables, la excusa del "caso de fuerza mayor" no es válida sino en casos excepcionales, de verdadera calamidad pública. Para todas las incidencias y pequeños accidentes inevitables debe existir siempre una reserva inmediatamente disponible, la interconexión de plantas térmicas en las redes alimentadas por plantas hidráulicas es una solución, generalmente más económica que el embalse de grandes cantidades de agua, que no siempre es disponible en condiciones favorables. En la última parte de este estudio veremos cuales son los requisitos de las plantas térmicas destinadas a satisfacer la demanda máxima de energía que se presenta diariamente, en las horas de mayor consumo en los centros urbanos importantes: las "horas de punta".

P. & R. y Cía. Ltda.

Ingenieros - Electricistas

**ALBERTO PIEDRAHITA B.
SANTIAGO RAMIREZ S.
ABEL ECHEVERRI V.**

**PROYECTOS
ASESORIAS
MONTAJES INDUSTRIALES
INTERVENTORIAS**

Edificio Vélez Angel Nros. 25 y 26

Telfs. 287-70 y 552-89 ♦ Apartado Aéreo 2046

MEDELLIN