

pósito de duplicar la línea de transmisión de fuerza, en un plazo relativamente breve, después de terminada la instalación de la primera línea.

Como ocurre siempre que se propone alguna empresa nueva de gran magnitud, este proyecto ha sido objeto de numerosas críticas y controversias. Es un hecho, sin embargo, que hoy por hoy no puede darse una opinión definida sobre la posibilidad de realizar el proyecto por no conocerse todavía todos los detalles del mismo. Todo lo que puede decirse hasta el presente, es que algunos Ingenieros bien conocidos están de acuerdo con él. Las opiniones de personas, tales como Mr. R. D. Mershon, Profesor Hlingenberg, Dr. Rathenau, Sir Douglas Fox, Profesor Blondel, Dr. Tissot, Mr. Arthur Wright y otros, son dignas de tenerse en consideración. Las dificultades técnicas pueden ser vencidas; éstas no aumentan necesariamente en la misma proporción que el voltaje, y hasta las descargas eléctricas pueden causar menos perturbaciones sobre un sistema dilatado que sobre otro más pequeño. La cuestión principal está en averiguar si los rendimientos que se obtengan, serán suficientes para compensar los gastos importantes que habrá que hacer para el aprovechamiento de las cataratas de Victoria.—H.

LAS TURBINAS DE VAPOR EN LAS ESTACIONES CENTRALES DE ELECTRICIDAD

Á continuación se da una traducción de la interesante Memoria que M. de Marchena, Ingeniero Jefe de la Compañía Thomson-Houston, de París, presentó al Congreso que la Asociación francesa para el adelanto de las ciencias celebró en Lyon el pasado Agosto, tal como ha sido publicada por el *Syndicat des forces hydrauliques*.

La aplicación directa de las turbinas de vapor al funcionamiento de las dinamos data en realidad de unos pocos años, pero en este corto lapso de tiempo ha tomado un extraordinario desarrollo, constituyendo ciertamente el hecho más saliente de la industria eléctrica durante este período. En la actualidad, para no citar sino los tipos más aceptados, hay en explotación ó en construcción próximamente:

600.000 kilovatios en turbinas Parsons,			
600.000	»	»	Curtis,
100.000	»	»	Zelly,

y á pesar de que estos dos últimos tipos son relativamente recientes, ya que aparecieron en 1902 las Curtis y en 1903 las Zelly.

El movimiento en favor de las turbinas de vapor es tan general y sus ventajas tan universalmente reconocidas y fuera de toda discusión, que al presente no puede concebirse ninguna gran estación generatriz si no está provista de estos aparatos.

La principal dificultad con que tropezó en sus comienzos la turbina de vapor dependió de la elevada velocidad de rotación á que su empleo conducía; pero este inconveniente se ha salvado con el empleo de expansiones más ó menos multiplicadas, mediante las que se redujeron considerablemente, las velocidades de salida del vapor, y, por consiguiente las velocidades periféricas por el estrecho enlace que entre ellas existe. Estas expansiones son numerosas, sobre todo en los tipos de turbinas más antiguos, tales como los Parsons, en los que se redujo de esta manera las velocidades periféricas á cifras verdaderamente moderadas (40 ó 50 m. próximamente).

Pero los progresos de la metalurgia, al poner á disposición de la industria metales más resistentes, han permitido avanzar mucho más, sin inconvenientes, por la vía de las grandes velocidades periféricas; en las del tipo Curtis, estas velocidades llegan á 110 y 120 m. por segundo, con lo que se ha podido reducir á 3 ó 4 el número de las expansiones y á 8 ó 9 el de las ruedas

móviles. En los Zelly y Rateau, el número de ruedas es también mucho menor que en los Parsons, sin que, por lo general, pasen de 12 ó 14.

Las velocidades de rotación siguen siendo elevadas, y esta tendencia probablemente irá en aumento, por razones de orden económico y de competencia comercial, ya que el coste de las turbinas disminuye considerablemente á medida que aumenta la velocidad de rotación.

Esta velocidad es actualmente para la mayor parte de los tipos en uso:

De unas 3.000 revoluciones para potencias inferiores á 500 caballos.

De 1.500 revoluciones para potencias de 1.500 á 2.000 caballos.

De 1.000 revoluciones para las de 3.000 á 4.000 caballos.

De 750 revoluciones para las de 6.000 caballos y más.

Estas velocidades elevadas tienen algunas consecuencias restrictivas en lo que se refiere á las turbinas de vapor; no se prestan muy ventajosamente al establecimiento de dinamos de corriente continua, principalmente si son de bajo voltaje (125 ó 250 voltios). Sin embargo, el empleo de polos auxiliares de conmutación ha permitido ya atenuar sensiblemente las dificultades que resultaban para la conmutación de los dinamos de colector, y el de las máquinas unipolares, actualmente en estudio, puede hacer esperar su supresión completa.

Debe añadirse también, que no hay lugar de creer mucho en el desarrollo de la máquina de corriente continua á baja tensión como unidad constitutiva de las estaciones centrales del porvenir. La tendencia actual de reunir la potencia generadora en muy grandes estaciones, se opone completamente á este desarrollo; estas estaciones, para encontrarse en favorables condiciones bajo el punto de vista de su alimentación de agua y de carbón y de sus facilidades de ampliación, deben, por fuerza, estar situadas á alguna distancia de los centros de distribución de luz y de fuerza motriz, y, por consiguiente, sólo pueden constituirse con unidades de alta tensión, en las que se impone la corriente alternativa.

También, incluso para la corriente alternativa, las grandes velocidades constituyen un cierto obstáculo al limitar estrechamente las frecuencias y las potencias de unidades que es posible adoptar. Este inconveniente es tanto mayor, cuanto más baja es la frecuencia y más débiles las potencias.

Tómese, por ejemplo, el caso de una frecuencia de 25 períodos: dos velocidades aparecen únicamente como posibles, 1.500 y 750 revoluciones, de lo que resulta que con esta frecuencia no es muy fácil conseguir, en buenas condiciones, unidades de menos de 1.200 ó 1.500 caballos, ni unidades de potencias comprendidas entre 2.000 y 5 á 6.000 caballos.

Con la frecuencia de 50 períodos los resultados son mejores, pues las velocidades de 3.000 y 1.000 revoluciones resultan posibles y permiten realizar en buenas condiciones una serie de potencias mucho más continuas á partir de 500 caballos.

Por otra parte, una vez creado un tipo de turbina, no podrá prestarse á toda clase de frecuencias; por ejemplo, un tipo de 3.000 ó 1.000 revoluciones no podrá emplearse sino en alternadores de 50 períodos ó de superior frecuencia. Otro de 1.500 revoluciones sólo podrá prestarse á frecuencias de 25 y 50 períodos; á 750 revoluciones corresponderán frecuencias de 25, 38 y 50 períodos, y lo mismo en los demás casos.

Sin embargo, este inconveniente no parece que debe impedir mucho el desarrollo de las turbinas de vapor, y es de creer que tenga, como consecuencia, una unificación todavía más estrecha que hasta ahora, de las frecuencias que se adopten, frecuencias que, cuando menos en Europa, se limitarán casi exclusivamente á la de 25 y 50 períodos.

Al lado de estos pequeños inconvenientes, cuya importancia no debe exagerarse, las turbinas de vapor presentan serias y decisivas ventajas para la constitución de grandes estaciones centrales.

Resumiremos rápidamente estas ventajas, de las que la mayor parte son bien conocidas, y son:

1.º—*Posibilidad de establecer unidades de potencia muy grande.*

Con las turbinas de vapor se ha podido llegar fácilmente á instalar unidades de 10 á 15.000 caballos, lo que hubiese sido irrealizable con las máquinas ordinarias de vapor. Estas grandes unidades son cada más vez deseadas en las grandes estaciones centrales modernas, cuya total potencia aumenta constantemente, hasta el punto de que con relativa frecuencia se exceden los 100.000 caballos.

2.º—*Gran elasticidad de potencia.*

Los grupos turbo-generadores se prestan fácilmente á las fuertes sobrecargas momentáneas, facilidad particularmente desarrollada en las turbinas de admisión parcial, del tipo Curtis, quedando generalmente limitada únicamente por la capacidad propia de sobrecarga del generador eléctrico. Con la supresión de todos los esfuerzos debidos á los movimientos alternativos, y en atención á que la principal fatiga proviene de la fuerza centrífuga, quedando los álabes sometidos á esfuerzos insignificantes, estas sobrecargas pueden sostenerse de un modo prolongado, sin ningún inconveniente para la turbina misma, dependiendo la duración del calentamiento de la dinamo.

Debe añadirse que estas sobrecargas pueden desarrollarse generalmente en buenas condiciones, sobre todo cuando los aparatos de conducción se han establecido con suficiente amplitud.

3.º—*Poco gasto de explotación.*

Con un buen vacío, el consumo de vapor de las tuberías, puede, por ahora, compararse al de las mejores máquinas ordinarias de vapor de doble y triple expansión ó potencia semejante. Se llega generalmente con un vacío de un 92 á 93 por 100 y un recalentamiento de 75° á 100° C á un consumo, á plena carga, inferior á

7'75 kg. de vapor por kw.—h. para los grupos que marchan á 1.500 revoluciones.

7'25 kg. de vapor por kw.—h. para los que giran á 1.000 revoluciones.

6'75 kg. de vapor para los de 750 revoluciones.

En los buenos tipos de turbinas, estos consumos varían poco, con la carga y permanecen constantes, con sólo una diferencia del 5 por 100 desde la media carga hasta un 50 por 100 de sobrecarga.

Los límites de funcionamiento económico son, por tanto, muy amplios, y esta circunstancia, unida á la grandísima elasticidad de potencia de las turbinas, hace que se pueda, sin inconveniente, establecer centrales generadoras con un número de unidades sensiblemente menor, aun en el caso de que tengan que desarrollar potencias muy variables, como en el de estaciones destinadas á alimentar redes de luz y fuerza.

Es preciso, además, no perder de vista que á causa de la ausencia de todo desgaste, los consumos de vapor en las turbinas no se modifican con el tiempo y no dependen de la vigilancia ó habilidad del personal encargado de su manejo. La experiencia ha demostrado de una manera concluyente que las cifras encontradas en los ensayos se conservan en la práctica del servicio corriente, cosa que no ocurre en la mayor parte de los tipos ordinarios de máquinas de vapor.

Por otra parte, el consumo de grasas es muy pequeño, sin que exceda de 2 á 3 por 100 del gasto del combustible, mientras que en las máquinas de cilindros, sobre todo en las de vapor recalentado se llega y aun excede frecuentemente el 10 ó 12 por 100.

El manejo de las turbinas de vapor es de los más sencillos,

y no necesita más vigilancia que la de los aparatos auxiliares y en particular las de condensación. El personal necesario es muy reducido por lo tanto. La economía que resulta es aun mayor, porque pudiéndose aumentar mucho la potencia de las unidades, su número disminuye en proporción.

Los gastos de conservación son mínimos, ya que el desgaste es casi nulo, gracias á la ausencia de esfuerzos y rozamientos. La experiencia enseña que, á pesar de las elevadas velocidades del vapor, no se produce desgaste apreciable ni en los órganos de distribución ni en las ruedas motrices; la conservación se reduce sólo al de los cojinetes.

Debe observarse que la supresión de todos los rozamientos hace inútil el engrasado interior y, por tanto, el vapor condensado se conserva puro y puede emplearse sin inconveniente, después de su condensación en condensadores de superficie, en la alimentación de las calderas. Estas permanecen, por tanto, siempre limpias interiormente, resultando así no sólo un aumento de rendimiento sino también una sensible disminución de conservación y de descansos obligados por la limpieza.

Teniendo en cuenta estos diversos elementos, se puede calcular en un 20 ó 25 por 100 la economía media que el empleo juicioso de la turbinas de vapor permite realizar en los gastos de producción de la energía eléctrica; esta economía tiende á aumentar á medida que crece la importancia de las unidades, y, por el contrario, á disminuir con ella. Desaparece casi por completo para potencias inferiores á 500 caballos.

4.º—*Poco gasto de instalación.*

El coste de los grupos turbo-generadores es sensiblemente inferior al de las otras máquinas térmicas. En la actualidad oscila para las diversas potencias entre 130 y 180 francos por kilovatio, lo que representa una diferencia de 20 á 25 por 100 con relación á las máquinas de vapor perfeccionadas con cuatro distribuidores, tipo Compound, ó de triple expansión, de igual potencia y consumo comparable. Esta diferencia irá en aumento á medida que el aumento de las salidas de vapor permita reducir el coste de las turbinas y amortizar los gastos de estudios y maquinaria necesarios para estos aparatos, todavía nuevos relativamente.

Además, la economía realizada, gracias al empleo de turbinas, está muy lejos de quedar limitada al coste de las máquinas.

Por su pequeño volumen, la importancia y precio del edificio, por unidad de potencia, se disminuyen considerablemente en especial con las turbinas de eje vertical. La superficie de la sala de máquinas puede reducirse al tercio y hasta al cuarto de lo que exigen las máquinas ordinarias de cilindros, y los gastos de cimentación llegan al décimo. Por la supresión de estorbos, las tuberías de vapor, las conexiones eléctricas, los arreglos interiores de los edificios, y, por último, los terrenos y superficies necesarios, sufren las correspondientes reducciones.

Teniendo en cuenta en un presupuesto exacto todos estos diferentes elementos, se reconocerá, en la mayor parte de los casos, que la economía realizada en los gastos de instalación, gracias al empleo de las turbinas de vapor, será rara vez inferior al 20 por 100, y podrá llegar al 30 por 100 para centrales importantes.

Estas ventajas, á las que se unen otras muchas de menor importancia, justifican plenamente la general aceptación de que gozan las turbinas de vapor, y explican el rápido desarrollo que han tomado en tan poco tiempo.

5.º—*Comparación entre los diversos tipos de turbinas.*

Esta comparación, en la actualidad, es algún tanto temeraria, ya que los diferentes tipos de turbinas se hallan todavía en el período de evolución y perfeccionamiento, siendo insuficientes las bases de apreciación.

Sin embargo, un hecho parece ya haberse dado á conocer: el

de que los diferentes tipos de turbinas pueden apreciarse según el consumo de vapor, y que las diferencias observadas en un mismo tipo, según el trazado más ó menos juicioso de sus álabes, la mayor ó menor perfección en la mano de obra, y según las condiciones más ó menos favorables de presión de vapor, de recalentamiento y de vacío, son mucho más sensibles que pasando de un tipo á otro igualmente bien establecido. La atenta comparación de los resultados publicados sobre ensayos de turbinas Parsons, Zelly y Curtis, es concluyente en este punto.

La preferencia debe manifestarse no por el consumo de vapor, sino principalmente por consideraciones basadas en la sencillez y solidez de la construcción, en la seguridad de funcionamiento y facilidad de conservación.

Bajo este punto de vista, las turbinas de acción del tipo Curtis y Zelly parecen presentar ventajas indudables, gracias á la supresión de los empujes axiales y de los émbolos compensadores, como consecuencia, por su menor número de ruedas motrices y constitución más robusta, y por sus mayores juegos, en el sentido radial, entre los postes fijos y los móviles, juegos muy suficientes para alejar todos los inconvenientes debidos á las diferencias de dilatación y que permiten la puesta en marcha y la parada sin precaución alguna y sin recalentamiento prolongado.

Entre las turbinas de acción, el tipo Curtis se distingue por su disposición vertical, que si bien en un principio pareció muy original, y fué objeto de vivas críticas, se venía empleando con éxito completo en las turbinas hidráulicas de poca caída, y tiende también á utilizarse actualmente en las de gran salto y gran potencia marchando á gran velocidad. Esta disposición suprime toda dificultad de alineación y de engrase de los cojinetes, y la experiencia ha demostrado que podía obtenerse fácilmente bien el buen funcionamiento del pivote, lo mismo con el engrasado con subpresiones que con el de aceite, resultando por lo menos tan seguro como el de los cojinetes de las turbinas horizontales.

Esta disposición parece especialmente ventajosa para las grandes potencias; se combina fácilmente con el establecimiento de condensadores de superficie ó de mezcla colocados en la base misma de la máquina, en las mejores condiciones para la salida directa y sin pérdida de carga del vapor á condensar permitiendo reducir hasta el último límite el espacio ocupado.

Antes de abandonar este punto, es conveniente fijarse en que la disposición vertical sólo es realizable con los principios en que se basan las turbinas Curtis: pocas ruedas con grandes velocidades periféricas, y, por consiguiente, de gran diámetro, exigiendo una gran anchura diametral y pequeña dimensión longitudinal, que permiten dar á las máquinas un asiento y una estabilidad que sería muy difícil de realizar con las proporciones admitidas en las turbinas tipo Parsons ó Zelly.

6.º—Condiciones más favorables para el establecimiento de las turbinas de vapor.

Las turbinas de vapor no realizan todas sus ventajas económicas, sino marchando á condensación con un vacío muy bueno. Mientras que uno de 85 por 100 es muy suficiente en las máquinas ordinarias de vapor, es preciso llegar, cuando menos, al de 90 por 100 en las turbinas, siendo preferible alcanzar el 93 ó 94 por 100. En general, se tendrá casi siempre interés en realizar un vacío tan elevado como permita la temperatura y la cantidad de agua de que se disponga para la condensación.

Esto se comprende fácilmente, pues á la inversa de las máquinas ordinarias de vapor, las turbinas utilizan la total expansión del vapor hasta la presión del condensador (1); además, el

(1) Con las máquinas de vapor se sabe que es prácticamente imposible utilizar esta expansión total hasta un vacío de 93 ó 94 por 100, porque se llegaría á dimensiones inaceptables para los cilindros, de los que resultarían precios muy altos y pérdidas por rozamiento exageradas. En las turbinas, por el contrario, el volumen admitido sólo influye en las secciones de los orificios y puede llevarse la expansión y el vacío tan lejos como sea posible utilizando de una manera eficaz la energía correspondiente á esta expansión.

mayor enrarecimiento del vapor debe conducir á una cierta disminución del rozamiento de las ruedas motrices en el fluido ambiente, principalmente en las últimas zonas.

En números redondos se ha comprobado una reducción del consumo de vapor de 1 por 100 por centésima de atmósfera de disminución de la presión de escape y un aumento todavía más marcado para la potencia desarrollada en las mismas condiciones de admisión.

Por otra parte, el poder utilizar para la alimentación de las calderas el agua destilada y absolutamente pura procedente de la condensación de las turbinas es una ventaja muy de tener en cuenta.

Por esto se ha recurrido en la mayor parte de los casos, y salvo raras excepciones, al empleo de condensadores de superficie del tipo de contracorriente, accionados por medio de bombas de aire seco ó de aire húmedo (generalmente del tipo Edwards).

La superficie refrigerante de los condensadores se toma generalmente de 0,25 ó 0,35 m.² por kilovatio de potencia, y en cuanto al gasto más favorable para el agua de circulación, depende de las condiciones en que ésta se obtiene, es decir, según que deba buscarse á más ó menos profundidad, y según que se tome ó no de una corriente.

Nunca baja este consumo á menos de 350 litros por kilovatio y con frecuencia se eleva hasta 600 litros.

Debe añadirse que desde la aparición de las turbinas de vapor, se han obtenido grandes progresos en el establecimiento de los aparatos de condensación y es probable que se acentúen en adelante todavía más.

Las altas presiones de admisión y un recalentamiento grande son favorables al funcionamiento de las turbinas de vapor, como también lo son en las otras máquinas de vapor (aunque quizás en un grado menos marcado).

Los ensayos hechos con los diferentes tipos de turbinas han permitido comprobar una economía casi uniforme de 1,5 á 2 por 100 por cada diez grados centígrados de recalentamiento.

Teniendo en cuenta todos los elementos en conjunto, parece que un recalentamiento de 75 á 100 grados centígrados en la admisión de la turbina es el que reúne condiciones más ventajosas de funcionamiento.

Este recalentamiento no ocasiona ningún inconveniente derivado de la supresión del engrasado interior y, á lo menos en las turbinas de acción, no ofrece dificultad alguna causada por la dilatación.

J. J. L.

EMPLEO DE LA TURBA COMO COMBUSTIBLE EN LOS ESTADOS UNIDOS

Esta cuestión continúa á la orden del día, y creemos encierre algún interés la lectura de las siguientes reseñas relativas á ensayos realizados en los Estados Unidos, y que extractamos del *Engineering News*, que á su vez los ha tomado del *Mineral Resources of the United States*, año 1905.

Hay en los Estados Unidos un cierto número de Sociedades interesadas en la industria de la turba y algunas han instalado material á título de experiencia. La producción total de estas diversas instalaciones alcanzó en 1905 un total de 300.000 kilogramos próximamente.

Se puede citar como tipo la de Orlando Water and Sight Co., en Orlando, Flo., que presenta un interés particular, en el sentido sobre todo, de que con ella se ha destruído el prejuicio popular de que la turba sólo puede encontrarse en las regiones septentrionales, siendo así que en la Florida existen, probablemente, los más ricos yacimientos de los Estados Unidos.

La Sociedad citada ha establecido sobre los depósitos que