

construidos con antelación, para que se pudieran establecer las partes extremas de la sección en el manguito de resbalamiento constituido á la entrada del estanque. Por lo demás, fué preciso recurrir á gatos para levantar todo el conjunto de la sección con objeto de dar al canal su nivel y sobre todo su inclinación exacta; se ha dado una pendiente de 10 milímetros á cada sección. Cuando estaba reglada cuidadosamente la inclinación y la situación, se volvían á llevar las tierras, ó, mejor dicho, las arenas, bajo el canal y alrededor de él formando un sólido terraplén á una y á otra parte; se regaban abundantemente estas arenas y se las apisonaba para obtener una acumulación estable de estos materiales tan esencialmente movedizos.

Por otra parte, durante la misma construcción se tropezó con grandes dificultades. Á menudo sobrevenían huracanes, como no se encuentran más que en estas regiones desiertas que acumulan la arena en un lado, que le arrastran por completo á otro y que llegaban á hacer perder todo aplomo á la sección que en aquellos momentos se establecía. Á menudo también el calor actuaba de un modo terrible sobre los palastros expuestos al descubierto; resultaban de aquí dilataciones desiguales que llegaban algunas veces á 10 centímetros de un lado y que perjudicaban de un modo raro el roblonado y el montaje. Estos movimientos no cesaban más que el día en que el canal estaba por completo enterrado en la arena y lleno de agua. Grúas móviles transversales circulaban por encima del emplazamiento del montaje y permitían presentar fácilmente y sostener los palastros mientras se les roblonaba. Se han colocado en su sitio más de 1.250 toneladas de metal, para lo cual se trabajaba día y noche sin interrupción; se han necesitado más de cinco meses y 700 hombres; es verdad que se recurrió, sobre todo, á gentes del Cairo y de Alejandría, que no son del todo robustos, y á los fellahs de la región, que se han mostrado más idóneos para instruirlos y también más robustos. Estas gentes, por lo demás, son poco aficionados á trabajar por la noche y tienen mucho miedo á los escorpiones cuando se echan, por ejemplo, bajo las planchas metálicas para proceder al roblonado. Tienen además el inconveniente de gustarles mucho el aceite de máquina, ya para barnizarse el cuerpo, ya sencillamente para beberse. Se puede añadir que son muy poco inteligentes para las cosas por poco mecánicas que sean, y que su vista es muy mala. Se había ensayado formar con ellos equipos para el roblonado neumático; verdaderamente han llegado á hacer marchar bien los martillos neumáticos para el roblonado, pero daban á estas máquinas un rendimiento muy pequeño. Con esta mano de obra ha sido menos costoso roblonar á mano.

Toda esta obra ha sido muy interesante y ha habido en ella una utilización curiosa de los palastros. Añadamos, para terminar, que todo el metal ha sido pintado exterior é interiormente con dos capas de una pintura especial llamada siderostena, de la cual se han hecho grandes elogios.—O.

TRANSPORTE DE ENERGÍA ELECTRICA

CON CORRIENTE ALTERNA Ó CONTINUA

Ventajas é inconvenientes de cada sistema (1).

Así como en América se emplea con preferencia la corriente alterna para el transporte de energía eléctrica con voltaje elevado, en Europa se adopta también la corriente continua para el mismo objeto, lo cual demuestra que tanto uno como otro sistema son imperfectos.

El carácter distintivo de los transportes de energía á gran

distancia es el gran voltaje que necesitan para que el coste de los conductores no sea muy crecido, voltaje que se obtiene por procedimientos completamente distintos según que la corriente sea alterna ó continua. En las dinamos de varios cientos de kilovatios ó más de potencia, el voltaje no puede pasar de 4.000 voltios, porque el chispeo en el colector es tan grande que es muy difícil evitar la destrucción del mismo en muy poco tiempo, razón por la cual, cuando el voltaje de la línea es superior á 10.000 voltios y la corriente es continua, se enlazan en serie las dinamos necesarias para que la suma de sus voltajes sea igual al de la línea; dichos voltajes pueden ser todo lo pequeño que se quiera, puesto que no existe circunstancia alguna que limite el número de dinamos que pueden enlazarse en serie, y por consecuencia es también ilimitado el voltaje que puede adoptarse para la línea.

En la instalación montada recientemente para el transporte de energía eléctrica entre San Mauricio y Lausana (Suiza) se emplea corriente continua á 23.000 voltios, producida por 10 dinamos enlazadas en serie; el mismo sistema se podría adoptar para voltajes de 50.000 ó 75.000 voltios con 20 ó 30 dinamos en serie, cuyo número no debe preocupar porque la resistencia eléctrica de los aislamientos de los devanados de cada dinamo es constante, puesto que el voltaje que tienen que resistir es el correspondiente á la dinamo de que forman parte, todas las cuales se aíslan del suelo de la manera más perfecta posible; como además no existe circunstancia alguna que limite el espesor ó resistencia eléctrica del material que se ha de interponer entre las dinamos y el suelo, resulta que por lo que se refiere á los aislamientos de los devanados el voltaje de la línea puede ser todo lo elevado que se quiera.

No es posible enlazar dos alternadores en serie para sumar sus voltajes, por cuya razón el de la línea tiene que producirse por un solo generador, á no ser que se empleen transformadores. El voltaje de los alternadores puede ser bastante mayor que el de las dinamos de gran potencia, construyéndose algunos que pasan de 13.000 voltios, no pudiendo predecirse cuál será el límite á qué se podrá llegar, aunque lo más probable es que éste sea bastante menor que los voltajes con que hoy día funcionan algunas líneas de transporte. Á medida que crece el voltaje de los alternadores hay que aumentar la resistencia eléctrica de los aislamientos de los carretes de su armadura y simultáneamente el tamaño y el número de las ranuras del núcleo cuyo volumen crece con mucha rapidez. Las dimensiones y el peso de un alternador por unidad de potencia son tanto más grandes cuanto mayor es el voltaje, hasta tal punto, que para un cierto valor de éste el coste del alternador es superior al de otro de pequeño voltaje con transformadores elevadores. Por lo que se refiere al voltaje de estos últimos no se ve límite, pues existen varias líneas de transporte en explotación regular desde hace algunos años con transformadores de 40.000 y 50.000 voltios, habiéndose construido hasta de 60.000 para usos industriales; para experimentos y ensayos los hay de 100.000 voltios.

Por lo que se refiere al voltaje de una línea de transmisión de energía eléctrica es completamente indiferente el empleo de la corriente alterna ó de la continua, siendo ilimitada la cantidad de aquella, que puede producirse y transportarse con ambos sistemas. Los alternadores pueden tener potencias de 5.000 y hasta 8.000 kilovatios, aunque rara vez se construyen tan grandes, porque generalmente se reparte la capacidad de la central entre varias unidades. Las dinamos no pueden construirse de potencias tan grandes como los alternadores; pero esto no tiene importancia, porque cualquiera que sea la energía necesaria, siempre es posible obtenerla con el número de dinamos que hagan falta, enlazadas en serie, en paralelo, ó en serie-paralelo, según convenga.

Quando se emplea la corriente continua para el transporte de la energía y los receptores son exclusivamente motores, éstos deben instalarse en serie, de tal manera, que el voltaje de la línea se reparta entre todos ellos, cualquiera que sea su emplaza-

(1) *Electric Transmission of Water Power*, by Alton D. Adams. New York, 1906.

miento, es decir, su distancia. Los motores eléctricos pueden estar acoplados directamente a las máquinas de trabajo, ó pueden mover generadores eléctricos que á su vez produzcan corriente en la forma que se necesita en las aplicaciones. En la central de Lausana, cuatro de los motores que reciben la corriente de la línea mueven otros tantos alternadores de 3.000 voltios, que producen corriente trifásica para lámparas y motores; el quinto se acopla á un generador de corriente continua á 600 voltios, dedicado al servicio de un tranvía urbano; un sexto motor del mismo grupo está instalado en una fábrica de cemento situada á bastante distancia de la central. Prescindiendo de las pequeñas diferencias que producen las pérdidas de energía en la línea y en los motores, el sistema de transporte con corriente continua exige una potencia de 3 kilovatios en motores y dinamos por cada kilovatio suministrado en la estación receptora, á la vez general de distribución; cuando todos los receptores son motores, las dinamos y motores deben tener una capacidad de dos caballos por caballo en el eje de los receptores. Si para el transporte se hace uso de corriente alterna y los receptores son motores exclusivamente, por cada kilovatio en el eje de estos últimos se necesitan dos en los motores y generadores y otros dos en los transformadores, á menos que la central trabaje con todo el voltaje de la línea; si en este caso se necesitara corriente continua para alguna aplicación, haría falta emplear, además de los transformadores, motores generadores ó convertidores rotatorios. Todo transporte de energía eléctrica con corriente alterna exige, como mínimo, un kilovatio en generadores y otro en transformadores por cada unidad de esta clase entregada á la red en las estaciones locales, y como máximo dos en generadores, dos en transformadores y uno en motores.

Cuando se emplea corriente continua, la instalación de la línea es sumamente sencilla, puesto que son necesarios dos conductores: nada más de la sección conveniente, los cuales se montan sobre postes sencillos, sin que haga falta transponerlos. El voltaje máximo que se ha de tener en cuenta para los aislamientos es el nominal de la línea. En estas condiciones, es posible montar una línea con dos conductores, cuya sección, resistencia y reparación sean tales, que exista una gran seguridad en que no se producirán roturas ni se establecerán arcos entre aquéllos.

Si el transporte de la energía eléctrica se hace con corriente alterna monofásica ó trifásica, son necesarios tres conductores por lo menos, empleándose algunas veces seis y aun más, en cuyo caso no es suficiente una sola línea de postes para que la distancia entre los conductores sea la conveniente y pueda trabajarse sin riesgo alguno en un grupo de ellos estando los demás en carga, operación que siempre es peligrosa, porque puede ocurrir que el arco que salte en un grupo de conductores se transmita á los de otro, por cuyas razones generalmente se establece una fila de postes por cada tres conductores. Los transportes con corriente alterna exigen partes más resistentes y en mayor número que cuando la corriente es continua, así como también es mayor el número de aisladores necesarios y la mano de obra correspondientes al primer sistema. Para un voltaje determinado es mucho más difícil aislar los conductores cuando la corriente es alterna que cuando es continua, puesto que en el primer caso, si la forma de la corriente es sinusoidal, el voltaje que ha de resistir el aislamiento no es el nominal de la línea, sino el máximo, que vale 1,4 veces el primero.

Con las corrientes alternas hay que tener muy presente el fenómeno de la resonancia, que puede dar lugar á que el voltaje de la línea sea mucho mayor que el normal previsto al proyectar la instalación si el período de vibración eléctrica de un circuito corresponde á la frecuencia de los generadores con él enlazados; aun cuando esto no ocurra, la resonancia puede dar lugar á un aumento de importancia en el voltaje de la línea.

El sistema de transporte con corriente alterna debe trabajar con voltaje constante cualquiera que sea la carga, de manera que los aislamientos constantemente estarán sometidos á la ten-

sión máxima, mientras que cuando la corriente es continua solamente durante los momentos en que la línea trabaja á plena carga tendrán que resistir los aislamientos el voltaje total, puesto que en este sistema la práctica generalmente adoptada consiste en conservar constante la intensidad de la corriente y variable su voltaje.

Las descargas eléctricas procedentes de las nubes constituyen un serio peligro para las máquinas cuando las líneas son de gran longitud, mucho más difícil de evitar cuando la corriente es alterna que cuando es continua. En los generadores que se aplican al alumbrado por medio de arcos en serie no son temibles las descargas atmosféricas, porque las defiende del efecto de éstas la inductancia de los carretes de los inductores. En los circuitos de las dinamos pueden insertarse pararrayos de gran autoinducción con resultados positivos, pero sin aplicación á los circuitos de corriente alterna.

Por lo que se refiere á los aparatos para la toma y medida de la corriente, el sistema de transporte con corriente alterna á voltaje constante exige una instalación más complicada que el de corriente continua con intensidad constante. Cada una de las 10 dinamos de la central de San Mauricio, cuya capacidad total es de 3.450 kilovatios á 23.000 voltios, se enlaza con la línea por medio de un interruptor montado sobre una columna de hierro fundido de un metro de altura; además, cada dinamo lleva su amperímetro y voltímetro correspondientes.

Los rendimientos comparados de los dos sistemas de transporte dependen de la naturaleza del servicio que se ha de realizar en las estaciones secundarias, así como de la mayor ó menor importancia que tengan los puestos de transformadores, siendo iguales los demás elementos de la instalación. En los anteproyectos puede tomarse como base un rendimiento de 92 por 100 para los generadores, motores y convertidores, y del 96 por 100 para los transformadores, trabajando unos y otros á plena carga. En la línea puede admitirse un rendimiento del 94 por 100 á toda carga, como sucede en una construida en Suiza para transportar á 51,5 kilómetros 2.160 kilovatios con una tensión de 14.400 voltios.

Cuando el transporte se hace con corriente continua y los receptores son exclusivamente motores, el rendimiento á toda carga será á $92 \times 0,94 \times 0,92 = 79,65$ por 100 entre el eje del generador y el del motor; en el caso de ser la corriente alterna, dicho rendimiento sería á $92 \times 0,94 \times 0,96 \times 0,92 = 76,46$ por 100, suponiendo que el voltaje de la línea se produce en los carretes de la armadura del alternador; pero si se emplearan transformadores elevadores, el rendimiento se reduciría á $0,92 \times 0,95 \times 0,94 \times 0,96 \times 0,92 = 73,40$ por 100, números que demuestran la supremacía de la corriente continua sobre la alterna cuando los receptores son motores.

Si la estación receptora ha de alimentar una red de distribución con corriente alterna ó continua y el transporte se hace con corriente continua, el rendimiento será $0,92 \times 0,94 \times 0,92 \times 0,92 = 73,27$ por 100; pero si el transportese hace con corriente alterna y la de la red de distribución es también alterna con la misma frecuencia, el rendimiento será $0,92 \times 0,94 \times 0,96 = 83,02$ por 100 con transformadores para rebajar y $0,92 \times 0,96 \times 0,94 \times 0,96 = 79,70$ por 100, si además hay transformadores elevadores; si no existen éstos y la corriente de la línea se transforma en alterna ó continua con motores generadores el rendimiento será $83,02 \times 0,92 \times 0,92 = 70,26$ por 100, que se reduce á $70,26 \times 0,96 = 67,43$ si se hace uso de los transformadores elevadores. En todo transporte de energía eléctrica, para distribuir ésta por una red de alimentación, el rendimiento á plena carga será mayor con corriente alterna que con continua si dicha energía hay que transformarla; pero sucederá lo contrario si no es preciso hacer transformación alguna.

En la líneas de corriente continua y constante las pérdidas de energía son independientes de la carga, por cuya razón su rendimiento decrece rápidamente al mismo tiempo que ésta; pero cuando el voltaje es constante, aquellas pérdidas varían con la

carga, proporcionalmente al cuadrado de ésta; es decir, que para cargas inferiores á la máxima el rendimiento de una línea es mayor cuando la corriente es alterna que cuando es continua.

El rendimiento de la maquinaria eléctrica es, por regla general, pequeño para cargas parciales, de tal manera que en aquellos casos en los que el número ó capacidad de los alternadores, transformadores, motores ó convertidores de una instalación fuera mayor por unidad de energía suministrada que el obtenido en el supuesto de ser continua la corriente, podría suceder que el segundo sistema fuera preferible por la combinación de los rendimientos de las máquinas correspondientes con cargas parciales, compensándose el pequeño rendimiento de la línea con el más favorable de las máquinas. Ahora bien; la energía en la central se produce casi siempre á un precio muy bajo, por cuya razón las pequeñas diferencias entre los rendimientos de ambos sistemas tienen muy poca importancia en relación con la que tienen el coste de la instalación, su seguridad en el funcionamiento y los gastos de explotación.

Por lo que se refiere al coste de primer establecimiento, parece que hay ventajas en favor del sistema con corriente continua. Cuando se trató de hacer el transporte de San Mauricio á Lausana se nombró una comisión de cinco Ingenieros para que diera un informe sobre el coste comparativo probable de ambos sistemas. Según dicha comisión, la instalación para hacer el transporte con corriente alterna hubiera costado 737.400 francos más que la construída con corriente continua, á igualdad de todas las demás condiciones, y á pesar de que las circunstancias especiales de aquella instalación son favorables para el empleo de la corriente trifásica porque toda la energía transmitida, á excepción de 400 caballos, se recibe en una sola estación, desde la cual se distribuye á los diferentes centros de consumo. De los cinco motores de Lausana, cuatro están acoplados á otros tantos alternadores trifásicos y el quinto á una dinamo que produce la corriente continua necesaria para el servicio de un tranvía, de manera que si el transporte se hubiese hecho con corriente alterna, sólo hubiese hecho falta un convertidor. Si toda la energía producida se hubiera aplicado exclusivamente á motores, la ventaja de la corriente continua sobre la alterna hubiera sido mucho mayor, considerada la cuestión desde el punto de vista económico.

El primer transporte de energía á gran distancia se hizo sobre una línea de 175 kilómetros de longitud alimentada con corriente trifásica á 25.000 voltios, tendida el año 1891 entre Frankfurt y Lauffen, por la cual se transmitieron 58 kilovatios. Al poco tiempo se hicieron algunas instalaciones en los Estados Unidos con fines industriales, las cuales se han multiplicado extraordinariamente durante estos últimos años; en aquel país se ha hecho poco uso de la corriente continua para transportes de energía á gran distancia. En Europa, cuna del sistema trifásico, no se ha abandonado por completo el empleo de la corriente continua para aquellos transportes, por el contrario, se le sigue prestando atención y actualmente existirán unas treinta instalaciones. Si la opinión de los Ingenieros europeos respecto á la economía del sistema de transporte de energía con corriente continua fuera confirmada por la experiencia, no hay duda de que adquiriría gran desarrollo en los Estados Unidos.

Las instalaciones de transporte de energía con corriente continua pueden trabajar con voltaje constante y corriente variable, con corriente constante y voltaje variable, ó con voltaje y corriente variable, en el grado que exija el valor de la carga. Se construyen dinamos de varios miles de kilovatios con voltajes de 500 á 600 voltios, pero se tropieza con grandes dificultades de construcción por lo que se refiere al colector, especialmente cuando se trata de dinamos cuya potencia no haya de pasar de 200 á 300 kilovatios, pero cuyo voltaje sea de algunos miles de voltios. Hasta ahora se han construido, con éxito satisfactorio, dinamos de 300 á 400 kilovatios con voltajes hasta de 25.000 voltios.

En una instalación de Suiza, en que la distancia del trans-

porte es 51,6 kilómetros y la energía transmitida 2.160 kilovatios á 14.400 voltios, se han montado ocho dinamos en serie cada una de las cuales produce 150 amperios á 1.800 voltios.

Los motores de corriente continua tienen las mismas limitaciones que las dinamos por lo que se refiere á su voltaje para grandes potencias, por cuya razón la energía de la línea debe repartirse entre varios motores dispuestos en serie, cuyo número puede ser mayor ó menor que el de dinamos; la única condición que debe existir es que la suma de los voltajes de los motores que hayan de funcionar á un tiempo sea igual al voltaje producido en la central disminuido en el perdido en la línea.

Todo motor de corriente constante puede tener la capacidad que se quiera no pasando de cierto límite, pero siempre debe proyectarse para la corriente de la línea en que se ha de montar. El voltaje en sus terminales varía con la carga, alcanzando su valor máximo cuando el motor ha de hacer su trabajo máximo. La constancia de la velocidad se obtiene por medio de una resistencia variable enlazada á las terminales de los inductores y la cual hace funcionar un regulador movido por el eje del motor, regulador que al mismo tiempo varía la posición de las escobillas sobre el colector.

En los transportes de energía con corriente continua, los devanados de los inductores é inducidos, tanto de los dinamos como de los motores, se enlazan en serie entre sí y con la línea, de tal manera que todos los elementos del circuito son recorridos por la misma corriente, exceptuando los inductores, de los cuales se deriva una pequeña parte para regular la velocidad.

Sin embargo, algunas veces se excitan los inductores de las dinamos con otra máquina dedicada exclusivamente á este fin, en cuyo caso todos aquéllos se enlazan en derivado, continuando montadas las armaduras en serie entre sí y con la línea.

El voltaje de la central y el de la línea de un sistema de transporte de energía con corriente continua y constante varía con la carga, correspondiéndose los máximos de uno y otra. La variación del voltaje se obtiene con la de la velocidad de las dinamos y esta última con un regulador automático, actuado por la línea en forma tal, que cuando ésta tiende á aumentar, el regulador reduce la velocidad de la dinamo, aumentándola en el caso contrario; con un buen regulador las variaciones de la intensidad de la corriente son muy pequeñas, permaneciendo sensiblemente constante la que recorre los inductores y los inducidos, por cuya razón no es necesario cambiar la posición de las escobillas sobre el conmutador.

Cuando los motores de una central cuya energía se transporta con corriente continua son turbinas, el regulador de velocidad actúa sobre la cantidad de agua que recibe cada una de aquéllas, á cuyos ejes se acoplan, por regla general, dos ó más dinamos, de las cuales las correspondientes á cada turbina se enlazan en serie y se ponen ó se quitan de circuito á un tiempo. Cuando la carga de la central es tal que el voltaje correspondiente es menos que el producido por todas las dinamos, se ponen fuera de circuito las que se considere necesarias para trabajar con el menor número posible de aquéllas.

Para poner una ó dos dinamos fuera de circuito, se establece un corto circuito entre sus inductores, se paran sus motores, se echa una llave entre las conexiones de las armaduras con la línea, y, por último, se abre la que enlaza aquéllas con ésta. Por un procedimiento inverso se ponen las dinamos en circuito.

El voltaje entre las terminales de cada dinamo es el producido por su armadura, de manera que el aislamiento entre los carretes tendrá que resistir una tensión que no pasará del valor de aquél. Sin embargo, el voltaje total de la línea tiende á hacer pasar una corriente desde los carretes de la dinamo de un extremo de la serie hacia su carcasa, y por lo tanto, hacia el material que constituye la base de la máquina, y de aquí hacia la carcasa y los carretes de la dinamo del otro extremo de la serie. Para defender el aislamiento de los carretes de la dinamo del voltaje de la línea se apoyan estas máquinas sobre gruesos bloques de porcelana y los embragues entre los ejes de las turbi-

nas y los de las dinamos se constituyen con materiales que no permitan el paso de la corriente.

El cuadro de una central para transporte de energía con corriente continua y constante es relativamente sencillo, puesto que, además de las llaves, de que antes se ha hecho mención, únicamente hacen falta un amperímetro y voltímetro para cada dinamo y otros para cada serie de máquinas. Como en esta clase de transportes las pérdidas en la línea son independientes de la carga, cuando ésta es pequeña, aquéllas representan una fracción muy importante: si, por ejemplo, un 5 por 100 del voltaje máximo es suficiente para que circule por la línea la corriente normal, las pérdidas de energía en ésta se elevarán al 10 por 100 cuando el voltaje sea la mitad del máximo, y al 20 por 100 cuando sea la cuarta parte.

Por esta razón se debe procurar que en los sistemas de transporte de energía con corriente continua y constante, las pérdidas en la línea sean lo más pequeñas posibles en relación con la carga máxima, puesto que casi todas las centrales trabajarán la mayor parte del tiempo con cargas inferiores a la máxima.

Generalmente se adopta el 5 por 100 del voltaje máximo de la central para las pérdidas en la línea, pero en esto como en otras muchas cosas influyen mucho las circunstancias especiales de cada caso particular.

En una línea de 51 kilómetros de longitud antes mencionada, las pérdidas en la línea son el 6 por 100 de la energía máxima producida por la central.

Cuando el transporte de la energía se hace con corriente continua a potencial constante, los límites de la potencia y del voltaje de cada dinamo son próximamente los mismos que cuando es constante la corriente. Actualmente, el sistema de transporte con corriente continua o potencial constante es quizás el que ha adquirido más desarrollo, especialmente para los tranvías eléctricos que funcionan con 500 ó 600 voltios. Se construyen de una manera corriente dinamos de este voltaje con potencia de varios miles de kilovatios, pero con ellas el transporte de la energía tiene que hacerse a distancias relativamente pequeñas. Por cada kilovatio que recibe una línea a 500 voltios para ser transmitido a una distancia de 8 kilómetros con el 10 por 100 de pérdidas, el peso del cobre de los conductores es 169 kilogramos, que representan 307 francos, cantidad de dos a cuatro veces el coste de una buena dinamo por kilovatio de potencia. Si la distancia del transporte fuera 16 kilómetros y las pérdidas en la línea el 10 por 100 como antes, el peso del cobre de los conductores sería 675 kilogramos y su valor 1.230 francos.

La experiencia ha demostrado que pueden construirse sin dificultades extraordinarias dinamos de 2.000 voltios, así como que puede enlazarse en derivado el número de aquéllas que hagan falta para obtener la potencia total de la línea. Si el voltaje de ésta es 2.000 voltios, sus pérdidas el 10 por 100 y su longitud 16 kilómetros, el peso del cobre de los conductores por kilovatio transmitido es 42 kilogramos, que valen 75,50 francos; si la longitud fuera 32 kilómetros, el peso correspondiente por unidad de potencia sería el mismo que en una línea de 8 kilómetros a 500 voltios, conservando las pérdidas el mismo valor que antes. Los motores de corriente continua cuya potencia es superior a 50 kilovatios pueden construirse para voltajes de 2.000 voltios, y, por lo tanto, enlazarse en derivado a una línea de esta tensión, completamente independientes unas de otras. De todo lo dicho se deduce que un transporte de energía a 16 kilómetros de distancia puede realizarse con corriente continua a voltaje constante y con una sola dinamo en condiciones económicas aceptables y con buen rendimiento.

Cuando la distancia del transporte es tal que, siendo la corriente continua, el voltaje ha de ser superior a 2.000 voltios, habrá que recurrir al enlace de las dinamos y motores en serie, en el número que se juzgue necesario, sin que para ello exista límite alguno, y en la misma forma que se hace cuando la corriente es constante. La suma de los voltajes de los motores que constituyen cada grupo ha de ser igual al voltaje total de la

línea, razón por la cual no se puede alterar el número de los que constituyen cada una de aquéllas. Si el voltaje de la línea es tan elevado que en cada grupo hay que colocar más de 2 ó 3 motores, se presenta el inconveniente de que éstos tienen que trabajar con cargas pequeñas la mayor parte del tiempo. Por lo tanto, cada grupo de motores debe acoplarse mecánicamente a una sola máquina, porque de lo contrario la velocidad de todos ellos no sería constante. El transporte de energía con corriente continua a potencial constante y motores en serie, carece de la flexibilidad que posee el mismo sistema con los motores en derivado, en cuyo caso cada uno de éstos se puede parar ó poner en marcha independientemente de los demás, regulándose el voltaje de la línea de una manera automática en la central, conforme varían el número de motores en marcha a un tiempo y el trabajo que hacen.

En el sistema de transporte de energía con corriente a potencial constante, el rendimiento de los motores, dinamos y línea es el mismo que cuando la corriente es constante y la carga máxima; con cargas parciales, el primer sistema tiene la ventaja de que las pérdidas de energía en la línea son proporcionales a los cuadrados de las cargas, mientras que en el segundo son constantes, por cuya razón se aconseja que se admita una pérdida del 10 por 100 en aquél y del 5 por 100 en este último cuando la carga es máxima.

Si el voltaje de la línea es superior a 2.000 voltios, es muy conveniente dedicar una dinamo de pequeña potencia y potencial constante a la excitación de los inductores de los generadores principales, sobre todo cuando varios de éstos se enlazan en serie. La excitación independiente tiene entre otras ventajas la de facilitar el funcionamiento de la Central y la de reducir el coste de los carretes de los inductores, los cuales están menos expuestos a quemarse porque trabajan a un voltaje poco elevado. Cuando se emplean grupos de motores en serie en líneas de potencial constante, es muy conveniente, tanto desde el punto de vista económico como por lo que se refiere a la seguridad en su funcionamiento, excitar los carretes de sus inductores con una dinamo especial.

Si en un transporte de energía se emplean dinamos y motores con devanado serie, la velocidad de los segundos se puede regular con cualquier carga sin aparato alguno especial, para lo cual es preciso que todos los motores se acoplen de tal manera que constituyan una sola unidad mecánica, así como que la velocidad de las dinamos sea constante. Un sistema de esta clase puede estar formado con una dinamo y un motor, ó con dos ó más dinamos y dos ó más motores en serie. Si manteniendo constante la velocidad de las dinamos, se varía la carga de cada motor ó de cada grupo de éstos, enlazados mecánicamente, tanto el voltaje como la intensidad de la corriente de todo el sistema se alteran a un tiempo, de tal manera, que la velocidad de los motores es constante, siempre que su disposición, así como la de las dinamos, sea la conveniente para conseguir este resultado. Cuando la carga alcanza su valor máximo, también son máximos el voltaje y la corriente, cuyos valores disminuyen simultáneamente con la carga. El inconveniente de este sistema consiste en la necesidad de enlazar mecánicamente varios motores para llevar la misma carga.

Comparado el sistema de transporte que se acaba de describir con el de corriente constante, tiene sobre éste la ventaja de que tanto en los motores como en las dinamos se puede prescindir de reguladores para mantener constante la velocidad, en el supuesto de que tanto aquéllas como éstas se construyan con las condiciones especiales que exija la instalación en que han de funcionar. Si dicho sistema se compara con el de potencial constante, ofrece sobre éste la ventaja de que ni las dinamos ni los motores tienen los carretes inductores sometidos a grandes voltajes, así como la de no necesitar excitación independiente. Estas cualidades especiales del sistema de transporte con dinamos y motores en serie, acoplados estos últimos también mecánicamente, contribuyen a que sea más barato y de funcionamiento

más sencillo que las de corriente ó de potencial constante, y muy indicado para aquellos casos en que la energía se ha de distribuir entre pocas unidades de gran potencia. El voltaje puede ser cualquiera, pero está limitado en la práctica por la condición de que todos los motores deben producir su trabajo como una sola unidad, de tal manera, que exceptuando el caso en que el trabajo que hay que realizar es excesivamente grande, siempre es limitado el número de motores de la serie, y, por lo tanto, el voltaje.

En Suiza se ha instalado un transporte de energía muy interesante en el cual se ha adoptado el sistema que se acaba de describir. En la casa de máquinas donde se utiliza la energía de un salto de agua se ha montado una turbina de 400 caballos á la cual se acoplaban dos dinamos con devanado serie y enlazadas eléctricamente en serie, cada una de las cuales puede producir 130 kilovatios á 3.300 voltios, es decir, 260 kilovatios á 6.600 voltios entre las dos; esta energía se transmite á una fábrica de papel y allí es recibida por dos motores de la misma potencia y voltaje que las dinamos, acoplados mecánicamente y enlazados entre sí y con la línea en serie; estos motores trabajan con la velocidad de 200 vueltas por minuto, cualquiera que sea la carga, cuyo valor máximo es 300 caballos. La longitud de la línea es 30,5 kilómetros y está constituida por dos conductores de cobre de 6,4 milímetros de diámetro. Tanto los motores como las dinamos, se apoyan sobre gruesos bloques de porcelana con objeto de defender los aislamientos de los devanados de la tensión correspondiente á todo el voltaje de la línea.

Los tres sistemas de transporte de energía con corriente continua que se han considerado, exigen menos capacidad total en maquinaria eléctrica que el de corriente alterna, excepto cuando en éste los generadores y motores trabajan con el voltaje de la línea.—Ω.

LOS ÚLTIMOS TRABAJOS DEL METROPOLITANO DE PARÍS (1)

El Metropolitano de París continúa extendiendo lentamente su red, añadiendo cada día tramos nuevos á los ya existentes; la costumbre ha hecho que la gente no se fije ya en los progresos realizados; de cuando en cuando los parisienses ven aparecer en las calles más frecuentadas las puertas de nuevas estaciones, y sin la menor extrañeza utilizan estas nuevas escaleras para penetrar en el túnel del Metropolitano.

Entre los trabajos ejecutados en estos últimos tiempos por la Compañía del Metropolitano, hay sin embargo algunos que han impresionado bastante al público, tales como los de la Place Saint Michel y de la Place du Marché-aux-Fleurs, los cuales han debido ejecutarse de un modo especial, ya que estando estas estaciones destinadas á descansar sobre un terreno impregnado de agua, no podían construirse como las estaciones ordinarias.

Tampoco era posible, á causa de las grandes dimensiones de estas estaciones subterráneas, pensar en el empleo del escudo usado ordinariamente para la apertura ó perforación de túneles en terrenos poco consistentes, siendo, por lo tanto, preciso recurrir al empleo de cajones ó secciones construidos al nivel del suelo y entrados después verticalmente en el terreno. Estos cajones presentan el aspecto de una caja sin tapa, con paredes absolutamente estancas, que rodean por completo la construcción que ha de introducirse en el terreno, y están provistas en su base de una cámara de trabajo que permite á los obreros abrir camino para que el cajón y su contenido vayan hundiéndose por su propio peso hasta llegar al nivel donde han de quedar. Para oponerse á la entrada de las aguas en la cámara de trabajo, es preciso comprimir en ella aire á una presión que aumenta con

la profundidad. Por lo tanto, la cámara de trabajo y la superior están separadas por una pared horizontal muy resistente, hecha absolutamente impermeable al aire con la aplicación de una espesa capa de hormigón. El paso de los operarios y de los materiales del aire libre á la cámara de aire comprimido y viceversa, se hace por varias chimeneas verticales, que parten del techo de la cámara de trabajo y atraviesan toda la obra superior; las chimeneas tienen que ser, por lo tanto, tanto más elevadas cuanto mayor es la carrera total que ha de recorrer el cajón en su descenso, y terminan en una cámara de esclusas que permite salir sin pérdida de aire comprimido. Lo que caracteriza especialmente los cajones empleados para estas estaciones, es que están íntimamente unidos á la obra que protegen y deben hundirse con ella poco á poco en el suelo hasta desaparecer por completo, sobresaliendo únicamente las chimeneas que establecen la comunicación entre la cámara de trabajo y el exterior.

Cada una de las dos estaciones á que hacemos referencia está compuesta de tres cajones, que forman un conjunto de 118 metros de longitud, dispuestos del modo siguiente: en el centro un cajón de 68 metros de longitud, que comprende la estación propiamente dicha, y á cada extremo un pozo de sección elíptica que une la estación con el túnel, de una altura igual á la distancia existente entre un punto situado á 2,50 metros más bajo que la parte inferior de la estación y el nivel de la calle, y que ha de contener, además de una sala de distribución de billetes, los medios de acceso á los andenes. El gran cajón central de la estación Saint Michel es de forma semicilíndrica y tiene una altura de 12,50 metros y un ancho total de 16,50 metros; su armazón metálico está constituido por armaduras en arco de círculo separadas 1,20 metros unas de otras, y unidas por tirantes, á los cuales se fijan las planchas de palastro que constituyen la envolvente exterior de la obra. La estación propiamente dicha tiene por sección transversal un arco de medio punto de 12,50 metros de luz, montado sobre pies derechos muy cortos, de modo que su altura máxima llega á 8,50 metros. Estará provista de dos andenes laterales de 3,50 metros de ancho y de toda la longitud de la estación, quedando un espacio de 5,50 metros entre los andenes para la circulación de los trenes.

Las paredes de estación están constituidas por planchas de palastro de 8 milímetros de espesor, provistas en su interior de hierros en ángulo para comunicarles rigidez, y que, al mismo tiempo, sostendrán una especie de entramado para asegurar la adherencia de un revestimiento de hormigón, sobre el cual se aplicará, como en las demás estaciones, un revestimiento continuo de ladrillos de gres esmaltados de blanco.

Por la parte exterior de estas paredes se aplicará una capa de hormigón de un metro de espesor en la clave y de 2 metros en los arranques de la bóveda, la cual recubrirá por completo las armaduras transversales. Además, es de notar que las planchas del cajón ó envolvente exterior, en lugar de tener la forma de la estación, se levantan verticalmente á ambos lados de la misma y están sostenidas por puntales de acero que servirán de alma á dos muros de sostenimiento paralelos contruidos de hormigón. El objeto de esto es evitar cualquier movimiento de las tierras mientras se introduce el cajón, movimiento que podría muy bien perjudicar la solidez de los edificios próximos.

La cámara de trabajo de este cajón central está dividida por un tabique longitudinal en dos cámaras distintas, cada una de las cuales tiene cuatro chimeneas; de este modo se podrá regular mejor el descenso de este cuerpo de excesivas dimensiones, que pesará por lo menos 18.000 toneladas (11.000 de acero y 7.000 de hormigón), y que por razón de la desigual resistencia del terreno está expuesto á sufrir desviaciones y hasta dislocaciones. Después de introducido el cajón en el terreno y cuando haya llegado á su nivel definitivo, los andenes de la estación estarán separados del piso de la plaza Saint Michel por una distancia de 15,35 metros, que corresponde á 96 escalones.

Los dos cajones extremos, de estructura absolutamente igual, presentan una sección horizontal elíptica, cuyo eje mayor mide

(1) De Industria e Invenções.