

to de excavación, como lo fuera el canal de Suez, se consideró que se trataba ahora de un magno problema de ingeniería, y se procedió á un nuevo y sistematizado estudio, que ocupó durante varios años á centenares de Ingenieros, y que ha costado bastantes millones de dollars.

Una de las mayores dificultades está en el corte llamado de la Culebra. Á medida que avanzaba la excavación, los costados se deslizaban de forma que no se lograba prácticamente progreso alguno y había la probabilidad de que las dificultades fueran mayores cuanto más se profundizase. Si tal hubiese acontecido, habría sido prácticamente imposible la construcción del canal, en razón á que ningún muro de contención habría podido retener una montaña que resbala.

La dificultad se venció perforando un túnel de 1.100 pies de longitud á lo largo del eje del canal y haciendo pozos á cortas distancias. Estos trabajos mostraron que debajo del terreno suelto había un lecho de esquistos arcillosos que reposaba sobre sólida roca, en la que se excavaría el canal. Cerca de un millón de libras esterlinas se empleó en estos reconocimientos, é indudablemente fué dinero bien gastado.

De todas maneras, la obra no tiene nada de sencilla, supuesto que el corte de la Culebra tiene unos 15 kilómetros de longitud, alcanzando la profundidad máxima de 97,15 metros. Una mitad de esta profundidad está ya excavada en el punto correspondiente, y en esta labor han hecho verdaderas maravillas las máquinas excavadoras, facilitando y abaratando la obra. Los contratistas holandeses tenían ajustada la yarda cúbica con la primitiva Compañía á 1,50 dollars, y no pudieron continuar. Ahora, gracias á los nuevos medios mecánicos y al mejoramiento de las condiciones de vida en el país, hay fundadas esperanzas de que la yarda cúbica no resulte á más de 79 centavos.

Mr. Fremont Hill ha defendido recientemente un método de apertura del corte de la Culebra. Consiste en abrir un túnel de tres vías en toda la longitud del corte y al nivel conveniente para que las aguas corran por su pie. Al túnel darían acceso 44 pozos á distancia de 1.200 pies entre cada dos consecutivos, lo cual, con las dos bocas del túnel daría en junto, 90 fuentes de ataque. De las tres vías, la central serviría para la carga y las otras dos para la circulación en ambos opuestos sentidos. Cada pozo llevaría anejo una instalación excavadora y un cable para el transporte de materiales.

La idea es ingeniosa, pero no ha convencido á la generalidad de los Ingenieros yanquis. Estos objetan que las obras de preparación y las instalaciones resultarían demasiado complicadas y costosas, mientras que el establecimiento de las diferentes vías, á medida que la excavación va avanzando por los métodos ordinarios, no costará tanto como Mr. Hill supone.

EMPLEO DE LAS CORRIENTES ALTERNAS

EN LA PROPULSIÓN DE TRENES PESADOS

Nuestro colega de Lieja la *Revista Técnica Hispano-Americana*, extracta un artículo de Mr. Lamme, publicado en el *Street Railway Journal*, de carácter práctico, sobre este importante asunto.

Varios han sido los sistemas desarrollados hasta hoy para el empleo de corriente alterna monofásica en trabajos de tracción. La gran ventaja del sistema monofásico reside, no en las características del motor en sí, sino en el hecho de que con un solo hilo de trole parecen haber límite en el voltaje que puede usarse en el circuito secundario. Tres mil trescientos voltios se manejan con excesiva facilidad; 6.600 voltios han sido ensayados dando resultados perfectamente satisfactorios; 11.000 voltios se han adoptado en más de una línea, y no tengo ninguna duda que dentro de algún tiempo se efectuarán ensayos comerciales

en los que se emplearán tensiones de 22.000 voltios. Los ensayos exigidos por el Gobierno sueco, están dispuestos para 18.000 voltios en el hilo del trole. Es por consiguiente evidente, que la corriente alterna monofásica nos da la solución de los problemas que en los circuitos de transmisión y de trole se presentan, puesto que la complicación y el coste no aumentan gran cosa con el aumento del potencial.

El éxito del sistema monofásico depende, sin embargo, enteramente de los aparatos que utilizan la corriente. Varios sistemas y clases de motores se han propuesto, y á muchos de ellos se les ha sometido á pruebas más ó menos completas. Entre éstos puede hacerse mención del sistema que utiliza un grupo motor-generator para la alimentación de los motores del coche ó carro. Este motor, aunque práctico, introduce mucho peso y costo adicional, y debe por consiguiente limitarse á locomotoras de grandes dimensiones. Existe también el sistema conocido con el nombre de sistema Arnold, en donde un motor monofásico, sincrónico ó asincrónico, funciona en conexión con aparatos neumáticos. Un tercer sistema (el que ha obtenido mayor desarrollo) es el que emplea un tipo de motor semejante al motor serie de corriente continua y provisto de un conmutador de corrientes. Este último sistema es el hoy conocido con el nombre de sistema de tracción monofásico.

Debe tenerse en cuenta que no es ningún mérito particular del motor serie monofásico lo que constituye la verdadera ventaja de tal sistema, sino más bien que con el éxito obtenido en el desarrollo del motor, se nos permite retener las características más ventajosas del sistema actual de corriente continua y eliminar muchas de sus desventajas. El motor en sí, y en sus características, se asemeja mucho al motor serie de corriente continua, y en esto consiste uno de sus principales méritos. Teniendo estas características, el motor es susceptible de una regulación económica de la velocidad, como en el caso del motor de corriente continua, pero en esta analogía la ventaja del sistema monofásico es más acentuada, debido á que las variaciones de voltaje pueden obtenerse más sencilla y económicamente siempre que se trata de corrientes alternas. El desarrollo de tal motor nos permite, por consiguiente, el empleo de cualquier voltaje en la distribución secundaria, puesto que éste puede transformarse al valor deseado y al mismo tiempo nos permite aplicar económicamente en los bornes del motor diferentes valores de la diferencia de potencial. En esto consiste el verdadero mérito del sistema monofásico, y no en la superioridad del motor. Éste es superior al motor de corriente continua en algunas condiciones, é inferior en otras.

El sistema monofásico posee las siguientes características, todas de capital importancia en trabajos destinados al arrastre de trenes pesados: voltaje elevado y corrientes relativamente pequeñas en el hilo del trole; bajo voltaje en los aparatos de regulación y motores; método de regulación económico; un tipo de motor con las características del motor serie de corriente continua y por consiguiente susceptible de buena regulación en la velocidad. Finalmente, los motores y aparatos de regulación, conectados al circuito secundario de bajo voltaje, pueden, si así se desea, estar perfectamente aislados del circuito principal. Otro rasgo característico muy importante es que los motores pueden estar dispuestos de tal manera que puedan funcionar muy satisfactoriamente, tanto con corrientes alternas como con continuas. Esto es posible que no tenga gran importancia en el porvenir; pero hoy, muchas de las líneas deseando instalarse con corriente alterna, deberán trabajar en conexión con las ya existentes de corriente continua. Debido á esta perfecta adaptación del motor á los dos sistemas alterno y continuo, la supremacía del sistema monofásico sobre el trifásico es indiscutible, aun cuando los motores en este último sistema estén provistos de conmutadores.

Para la propulsión de trenes pesados, semejantes á los de tracción por vapor, el sistema monofásico se recomienda por muchas razones. La demanda de voltajes en el hilo del trole es

de 6.600 voltios ó más. Una regulación de velocidad con límites muy distantes, es de una importancia extrema, sobre todo para trenes de carga, y puede obtenerse fácilmente con el sistema precitado. Con una regulación efectuada por medio de la variación de la diferencia de potencial aplicada en los bornes, y con motores provistos de conmutador de corrientes, la energía consumida por el motor es poco más ó menos proporcional á la carga, y para una carga dada, el consumo será mínimo para las velocidades pequeñas. Esta característica del sistema monofásico, es muy semejante á la correspondiente en los sistemas de vapor. Otra característica de gran valor, bajo el punto de vista de la operación, consiste en que si un recargo momentáneo, ó un corto-circuito viene á producirse, el sistema no deja de funcionar durante un periodo de tiempo considerable. Como el hilo del trole está alimentado por el circuito secundario del transformador, sin la interposición de máquinas rotativas, un corto-circuito tendrá por efecto disminuir temporalmente la tensión, y tan pronto como éste desaparezca, el voltaje subirá otra vez á su valor normal, y el sistema continuará funcionando. En los sistemas actuales, con transformación de corriente alterna en continua, un corto-circuito puede ocasionar una interrupción del servicio durante un tiempo apreciable, hasta que los aparatos en la subestación puedan volverse á poner en movimiento. Aún más, con este sistema, la carga que momentáneamente puede tomarse, depende principalmente de las conmutatrices, mientras que con subestaciones con transformadores estáticos, solamente es posible admitir durante un corto espacio de tiempo un recargo enorme sin temer efectos desastrosos. El sistema es, por consiguiente, muy apto para violentas y frecuentes fluctuaciones de la carga. El rendimiento de los transformadores reductores es generalmente alto aunque los límites en la variación de la carga estén muy distantes uno de otro, lo que no sucede con las conmutatrices, aparatos necesarios á la transformación de la corriente alterna en continua.

El número de subestaciones y su distribución puede hacerse conforme á las condiciones de carga y extensión deseadas. Por ejemplo, si hay un punto en el recorrido de la línea en donde fuese necesario efectuar un vigoroso empuje, tal como la subida de un plano inclinado, es posible colocar en ese punto una de las subestaciones.

Otra de las características que posee este sistema es la facilidad de poder aumentar ó extender su servicio con un aumento en el costo relativamente pequeño. Por ejemplo, si el servicio de la línea hubiera de ser doblado ó triplicado después de haberse hecho la instalación, el número de subestaciones de transformación puede doblarse ó triplicarse, pudiendo colocarse estas subestaciones entre las ya existentes. De esta manera, el circuito de transmisión y el circuito secundario pueden quedar prácticamente sin modificación. Una extensión del sistema en cualquiera de los extremos puede efectuarse en muchos casos por la simple extensión de las líneas ya existentes, sin aumentar el número de *feeders* de todo el sistema. En una palabra, el sistema puede extenderse considerablemente, con un coste en los circuitos de transmisión y de trole, prácticamente en proporción con la extensión.

La discusión parece reducirse ahora á la comparación en la economía que procuran el sistema monofásico y el sistema de corriente continua con subestaciones de transformación. Á esta cuestión es naturalmente difícil dar una respuesta decisiva, puesto que los resultados difieren en los diferentes casos que se presentan.

La repartición de las pérdidas se efectúa de tan distinta manera en los diferentes casos, que se hace necesario hacer un análisis completo para atreverse á hacer comparación alguna.

El rendimiento del motor monofásico es necesariamente menor que el del motor serie de corriente continua correspondiente; hay además una pérdida adicional en los aparatos de transformación colocados en el coche motor. Además, el consumo de energía es necesariamente mayor en el sistema monofásico, dado

el mayor peso de los aparatos. Los motores monofásicos son más pesados que los motores de corriente continua de la misma capacidad; esto es debido en gran parte al hecho de que la coraza ó blindaje del motor monofásico no forma parte del circuito magnético, como ocurre con la del motor á corriente continua, y constituye, por consiguiente, un peso muerto. Esto puede representar una diferencia en el peso de los motores de 15 á 20 por 100. El transformador reductor representa también en el sistema monofásico un peso adicional que no se encuentra en el sistema continuo. El reostato, necesario en el sistema continuo no se encuentra en el sistema monofásico utilizando corriente alterna sólo, pero se hace necesario en los sistemas que utilicen ambas corrientes. En los demás puntos podemos considerar los dos sistemas como equivalentes en lo que al peso se refiere. Tomando todos estos datos en consideración, el peso del sistema monofásico será de 5 á 10 por 100 mayor que el peso de un sistema de corriente continua correspondiente, y, por consiguiente, el consumo de energía será mayor en el primer sistema que en el segundo.

Si el sistema es tal, sin embargo, que los arranques se sucedan con frecuencia, el sistema monofásico, en el cual la regulación se obtiene por la modificación del voltaje en los bornes, será más económico durante la aceleración que lo es el sistema continuo con su combinación reostática y serie paralelo. En estos casos, la diferencia en la economía durante la velocidad máxima resultará pequeña comparada con la economía del sistema monofásico durante los periodos de aceleración (arranque hasta la marcha en régimen).

Pasando al circuito del trole, es de notar que con las altas tensiones que es posible emplear con el sistema monofásico, las pérdidas en el hilo del trole son muy pequeñas, comparadas á las que se producen en el sistema continuo correspondiente al mismo tráfico. Para líneas de una extensión considerable, el beneficio que corresponde á la disminución de estas pérdidas puede compensar la pérdida ocasionada por las ocurridas en los demás aparatos del sistema monofásico, y, por consiguiente, podemos considerar, en lo que á pérdidas se refiere, los dos sistemas como equivalentes, á partir de las subestaciones de transformación.

En estas subestaciones, el sistema continuo, con transformación de corriente alterna en continua, necesita el empleo de conmutatrices ó de grupos motogeneradores; además de los transformadores estáticos necesarios para reducir el alto potencial del circuito de transmisión, al relativamente bajo exigido por los transformadores rotativos. El rendimiento de las conmutatrices es excelente á plena carga, pero si el servicio es intermitente, el rendimiento medio puede llegar á ser inferior al 90 por 100. Con motores generadores, éste será aún menor de 2 á 5 por 100. El rendimiento de los transformadores estáticos en estas subestaciones es muy elevado. Si el circuito secundario, en el sistema monofásico está alimentado por la corriente secundaria de un grupo de transformadores estáticos, sólo se tendrá en cuenta, al hacer la comparación de los dos sistemas, las pérdidas ocurridas en las conmutatrices, ó en los grupos motogeneradores. Si el voltaje en el trole es suficientemente elevado para suprimir el empleo de transformadores estáticos, tendremos, en favor del sistema monofásico, una mejora en la evaluación del rendimiento total. En el caso de necesitarse en ambos sistemas el empleo de transformadores estáticos, podemos en el sistema monofásico reunir en una, dos ó tres grandes unidades el gran número de transformadores que generalmente se emplean con las conmutatrices ó grupos moto-generadores.

Se podrá insinuar que con motores-generadores los motores pueden estar devanados para permitir el empleo de altas tensiones, evitando así el uso de transformadores estáticos. Esto es posible en algunos casos, pero hay que tener presente que el rendimiento de un motor á alto potencial es en general de 1 á 2 por 100 menor que el del motor correspondiente á bajo voltaje; así es que el beneficio que en el rendimiento obtenemos con la

supresión de transformadores estáticos apenas si merece que se tenga en cuenta.

En la estación central encontraremos, que en la generalidad de los casos, el sistema monofásico necesita menor potencia mecánica que el sistema continuo con sus conmutatrices ó grupos moto-generadores. Esto significa, que el rendimiento total del sistema monofásico es, en la mayoría de los casos de 5 á 100 por 100 mayor que el del sistema alterno continuo correspondiente. Esta mejora en el rendimiento total muestra la importancia del sistema, y no el beneficio ó la pérdida que ocurra en un aparato determinado. Si el sistema monofásico presenta menos consumo de energía creo absurdo criticar el rendimiento más ó menos pequeño que presentan los aparatos en el carro motor.

Considerando ahora el precio total de tal sistema, nos volvemos á encontrar con que los resultados dependen de los diferentes casos individuales que se presentan; pero considerando el problema de una manera general, se obtienen los resultados que á continuación exponemos.

El coste de la estación central es aproximadamente el mismo en los dos sistemas. El consumo de energía será ligeramente menor en el sistema monofásico que en el sistema alterno-continuo; pero parte de los aparatos en la central serán más costosos en el primer sistema que en el segundo. Los generadores destinados á engendrar corrientes monofásicas son de precio más económico que los correspondientes polifásicos empleados en el sistema alterno continuo. Esto es debido á que, por lo general, los alternadores monofásicos son mayores y más pesados que los polifásicos de igual capacidad, y también al hecho de ser completamente distintas las pérdidas de tensión en los dos sistemas. En el sistema alterno-continuo la regulación del alternador puede ser muy pobre, por lo cual las conmutatrices pueden ser compound. En el sistema monofásico el compoundaje se hace en el generador mismo. Hay, además, en las centrales alguno que otro detalle que modifica los precios relativos de los sistemas, de manera que, por lo general, podemos considerar la estación central como siendo de igual precio en los dos sistemas. Si la central representa un tanto por ciento del precio total relativamente grande, esta partida puede cubrir, hasta cierto punto, la diferencia en proporción de los factores restantes. Por ejemplo, si en otros factores del sistema monofásico cuestan 20 por 100 menos que los mismos en el sistema alterno-continuo, y si la central representa el 50 por 100 del coste total, el sistema monofásico tendría una ventaja aparente de menos de 20 por 100, mientras que si la central representa únicamente un pequeño tanto por ciento del precio total, el sistema monofásico tendría una ventaja mucho mayor. En estas comparaciones debe uno fijarse en los precios totales y no en los proporcionales.

Más allá de la central, el precio del circuito de transmisión de alto potencial, si lo hay, puede considerársele como equivalente en los dos sistemas. En las subestaciones, sin embargo, el sistema monofásico puede tener sus transformadores agrupados en un número reducido de grandes unidades. El precio de estos transformadores será por consiguiente menor en este sistema. El valor de las conmutatrices ó motores-generadores está completamente eliminado en el sistema monofásico. Por consiguiente, existe en este sistema un verdadero beneficio en lo que á subestaciones se refiere. El precio de los edificios puede hasta disminuir puesto que su tamaño disminuye.

Volviendo al circuito del trole, la construcción de una línea de alto voltaje puede representar un precio mayor que el necesitado por la misma en el sistema continuo, siempre que no se incluyan los *feeders* en la comparación. Mas si tenemos en cuenta el costo de ellos, el precio total de la línea en el sistema continuo resulta mucho mayor que en el sistema monofásico. En lo que á los aparatos colocados en el carro motor se refiere, resulta todo lo contrario, á causa de la construcción de los motores con sus circuitos magnéticos completamente laminados y

sus corazas de acero, que representan material extra; el precio se encuentra, por consiguiente, aumentado en relación con el precio de los motores actuales, empleados en el sistema continuo. Además debe añadirse el precio de los transformadores colocados en el carro. Si el sistema utiliza las dos corrientes, alterna y continua, habrá necesidad de aumentar el precio, debido á los aparatos de regulación. Por consiguiente, teniéndolo todo en cuenta, el precio de los aparatos del sistema monofásico es considerablemente mayor que el precio de los mismos en el sistema continuo. Se ha encontrado, sin embargo, que este aumento en el precio de los aparatos no compensa la ganancia que se obtiene en las otras partes del sistema, puesto que en el sistema alterno-continuo el precio de los aparatos en el carro representa únicamente un pequeño tanto por ciento del precio total. En general, se ha encontrado que el precio total de la primera instalación es considerablemente menor en el sistema monofásico que en el sistema alterno continuo. Sin considerar la estación central, esta diferencia de precio llega en algunos casos á 30 por 100, mientras que en otros no pasa de 10 por 100.

ANDAMIOS MÓVILES EN LA ESTACIÓN DE CHARING-CROSS EN LONDRES

Para desmontar el tejado y armaduras de la estación de Charing-Cross, en parte hundidas en 5 de Diciembre último, se ha construido un andamio móvil; este andamio es independiente de los primeros pilares en carpintería que han sido establecidos al principio para sostener inmediatamente la extremidad del tejado y desmontar la primera armadura.

Este andamio, descrito en el *Engineering* del 9 de Marzo, ocupa toda la sección inferior de la estación y soporta á uno y otro lado del eje tres pisos formando gradería, según el contorno del arco inferior de las armaduras, y un séptimo piso sobre este eje mismo y que forma el último escalón para cada lado.

Para facilitar el tráfico en la estación, lo mejor posible, se ha dispuesto este andamio de manera que se puedan utilizar las vías situadas debajo, haciéndole descansar sobre el suelo por intermedio de cuatro líneas de pilares que ruedan sobre otras vías establecidas en los andenes intercalados entre las de la estación.

Las líneas de pilares no están regularmente repartidas por no estarlo los andenes sobre los cuales descansan.

Las líneas de pilares están derivadas paralelamente al eje horizontal de la estación en dos grupos, que se pueden hacer independientes formando dos andamios distintos, que pueden avanzar, según el eje, el uno detrás del otro. La profundidad total de estos dos andamios yuxtapuestos es de 27 metros próximamente; el más lejano de la extremidad hundida de la armadura es un poco más pequeño que el otro, no pesa más que 200 toneladas, éste pesa 250. Estos andamios elevan encima cuatro grúas, maniobradas desde el suelo con tornos de vapor. Á medida que se avanza con los andamios se va construyendo un tejado provisional. El autor del artículo que extractamos describe también la manera de desmontar el tejado: se sigue exactamente el orden inverso de aquél que ha sido seguido para el montaje.

Estos andamios se han construido en seis semanas, y en veintidós días se han desmontado tres tramos. El cubo de madera empleado ha sido de 627 metros cúbicos.—O.