

Es indudable que el motor trifásico posee cualidades muy notables en cuanto á los puntos de vista de entretenimiento, de rendimiento, de peso, de capacidad, de sobrecarga, de posibilidad de recuperación, y que puede ser superior á todos los motores de tracción; pero presenta dos inconvenientes capitales, los cuales ningún perfeccionamiento futuro podrá remediar. Estos son:

1.° La constancia de la velocidad.

2.° La necesidad para su alimentación, por lo menos de dos conductores de polaridad diferente (los carriles sirven de tercer circuito).

Sobre el primer punto, todos los Ingenieros estamos de acuerdo sobre lo molesto que resulta para los trenes de viajeros la imposibilidad de modificar la velocidad de la marcha normal. En verdad, las instalaciones antes citadas presentan combinaciones que permiten obtener diferentes velocidades de marcha, pero esto es sólo en apariencia; en realidad estas combinaciones no hacen más que disminuir las pérdidas en el arranque, y en ciertas condiciones velocidades que lleven consigo menor gasto de energía, y por último, reducir la potencia total máxima absorbida por la locomotora sobre ciertas partes del recorrido, en los cuales el esfuerzo de tracción que es preciso desarrollar es muy considerable. Estos motores no permiten nunca una regulación de la velocidad según las necesidades del servicio; en definitiva las locomotoras trifásicas deben considerarse como máquinas de velocidad constante.

Sin entrar á discutir todas las consecuencias de este hecho, nosotros diremos solamente lo siguiente: á menudo se ha perdido de vista, y sin embargo es de gran importancia práctica, que aunque los motores trifásicos trabajando sobre una misma máquina, pero en ejes diferentes, se reparten tanto peor la carga cuanto que poseen un resbalamiento menor, y por consiguiente, un rendimiento más elevado. Sobre una locomotora eléctrica los ejes motores deben estar de preferencia acoplados, lo que excluye *ipso facto* ciertos tipos de locomotoras, y no las menos interesantes.

Como consecuencia de esto dos locomotoras pueden acoplarse con gran dificultad, aun siendo idénticas se reparten mal la carga, y por lo tanto resulta imposible su acoplamiento. El empleo de unidades múltiples es, por lo tanto, impracticable.

Sobre el segundo punto, el tener que establecer además de los carriles dos contadores de toma de corriente, constituye un inconveniente de importancia. El establecimiento de un conductor único no deja ya de presentar grandes dificultades; éstas son notablemente aumentadas si es preciso establecer dos, y sobre todo teniendo potenciales tan elevadas cuya adopción es la única posible en las resistencias trifásicas.

Además el bajo factor de potencia de los motores de inducción trifásicos, la caída de tensión que resulta sobre los conductores, las pequeñas variaciones del potencial de alimentación que conviene tolerar para el buen funcionamiento de los motores de inducción, son todos inconvenientes de importancia que constituyen en conjunto un aumento considerable en los gastos de primer establecimiento de las líneas.

Estos diferentes defectos son inherentes al sistema y no pueden casi ser corregidos. Hay, pues, motivo para creer que el sistema trifásico ha dado todo lo que puede dar, y que no presenta más que un pequeño margen para el progreso futuro. Estas consideraciones impiden incluir el siste-

ma trifásico entre los que les está reservado un gran porvenir en la transformación eléctrica de los ferrocarriles.

Sobre el sistema monofásico diremos que este sistema no data más que de cinco años; pero ha tomado en poco tiempo un desarrollo considerable. Según una comunicación de M. Lamme á la *Asociación de Electricistas Americanos*, los motores establecidos según este sistema representan hoy día una potencia que pasa de 250.000 HP. Este rápido desarrollo es natural, porque desde su aparición, estos motores, por sus características especiales y por las perspectivas nuevas que presentan, han inspirado á los especialistas el más vivo interés, siendo considerados por muchos como la solución ideal de la tracción eléctrica.

En la reciente transformación de los ferrocarriles suizos se ha adoptado el sistema monofásico.

Lo mismo ha sucedido en Alemania, donde las instalaciones de ensayos de transformación de los ferrocarriles bávaros llevaron motores monofásicos.

Ahora va á ser ensayada en Francia, en la línea de Cannes á Grasse, una locomotora que recibe corriente monofásica y la transformación continua.

En los Estados Unidos, el año último, en una profunda discusión sostenida sobre la electrificación de los ferrocarriles, varios Ingenieros propusieron acordar que los motores monofásicos son la única solución posible para los ferrocarriles eléctricos.

(Continuará.)

ESTUDIO DE LA CATENARIA

Y DE SUS APLICACIONES MECANICAS

POR D JOSÉ TOUS Y BIAGGI

Académico de la Real de Ciencias y Artes de Barcelona.

(CONTINUACIÓN)

La posición de los puntos extremos (x_1, y_1) (x_2, y_2) establece:

$$y_1 - y_2 = h \quad : \quad x_1 - x_2 = d$$

ó sea:

$$\sqrt{a_1^2 + (s_m + l_1)^2} - r - \sqrt{a_2^2 + (s_m - l_2)^2} = h :$$

$$a_1 l_n \frac{\sqrt{a_1^2 + (s_m + l_1)^2} + s_m + l_1}{a_1} -$$

$$- a_2 l_n \frac{\sqrt{a_2^2 + (s_m - l_2)^2} + s_m - l_2}{a_2} - \delta = d$$

en las que sustituyendo por δr los valores deducidos de las dos anteriores dan:

$$(c) \quad \sqrt{a_1^2 + (s_m + l_1)^2} - \sqrt{a_1^2 + s_m^2} - \sqrt{a_2^2 + (s_m - l_2)^2} + \sqrt{a_2^2 + s_m^2} = h$$

$$(d) \quad a_1 l_n \frac{\sqrt{a_1^2 + (s_m + l_1)^2} + s_m + l_1}{\sqrt{a_1^2 + s_m^2} + s_m} -$$

$$- a_2 l_n \frac{\sqrt{a_2^2 + (s_m - l_2)^2} + s_m - l_2}{\sqrt{a_2^2 + s_m^2} + s_m} = d$$

que junto con las (a) (b) resuelven el problema, pues éstas permiten sustituir en las (c) (d), s_m , σ_m en función de a , a_0 y determinar estos parámetros, que, junto con las ecuaciones generales, dan todos los demás valores.

Un caso particular, relativamente fácil de resolver, sea directamente, sea por reducción de la solución general anterior, es aquel en que una cuerda suspendida por sus extremos en puntos á igual nivel se carga con un peso P en su punto medio. En este caso las dos catenarias son iguales y simétricas con respecto á la vertical que pasa por el punto medio de la cuerda, que es donde actúa el peso, por lo que la proyección de la tensión de una de ellas sobre la vertical será igual á la mitad de dicho peso, ó sea:

$$T_{m,1} \sin \alpha_{m,1} = \frac{P}{2}$$

que teniendo en cuenta las ecuaciones (40) y (4), resulta:

$$ps_m = \frac{P}{2}$$

que da inmediatamente el valor:

$$s_m = \frac{P}{2p}$$

lo mismo que para el punto (x, y_1) daría:

$$s_m + l_1 = \frac{P}{2p} + l_1$$

la ecuación (7) da:

$$\frac{d}{2} = x_1 - x_m = al \cdot n \frac{y_1 + s_m + l_1}{y_m + s_m}$$

y poniendo los siguientes valores deducidos de la (6):

$$y_1 = \sqrt{a^2 + (s_m + l_1)^2}; \quad y_m = \sqrt{a^2 + s_m^2}$$

da definitivamente:

$$d = 2al \cdot n \frac{\sqrt{a^2 + (s_m + l_1)^2} + s_m + l_1}{\sqrt{a^2 + s_m^2} + s_m}$$

El mismo resultado se encuentra por deducción de las fórmulas generales (a) (d) si se tiene en cuenta que en este caso $\varepsilon = 0$; — $\sigma_m = s_m$ y que por ser — $x_m = x_1$ en la (d), los dos términos son del mismo signo y su suma igual á d .

La solución de los casos en los que una cuerda está sometida á una serie de fuerzas en su plano vertical puede resolverse, como método, por el mismo principio, si bien resulta extremadamente complicado por pocas fuerzas que haya. En las aplicaciones es preferible hallar una solución aproximada asimilando el problema al caso de un sencillo polígono funicular, y si acaso se quiere mayor exactitud, tomar esta solución como primera aproximación siguiendo el método general de aproximaciones sucesivas.

Como al principio se ha indicado, son en la actualidad numerosas y de gran importancia las aplicaciones de cables suspendidos como conductores eléctricos, los que en caso de ruptura ocasionan, además de pérdidas materiales, algunas veces heridas y la muerte de las personas. Una de las causas que seguramente ha contribuido algunas veces á la ruptura de dichos cables, ha sido el colocarlos en tiempo de

calor con demasiada tensión á fin de que presenten buen aspecto, con lo que, al descender la temperatura al llegar el invierno, aumenta todavía la tensión poniendo en peligro la resistencia de los mismos. En los ferrocarriles, ya desde las primeras vías que se colocaron, se tuvo en cuenta esta circunstancia de la dilatación, colocando los railes con cierta pequeña separación, mayor en invierno, que permitiera la libre dilatación sin producir, en consecuencia, sobre la vía esfuerzos notables de deformación, y si bien en la actualidad se ensaya en los Estados Unidos del Norte de América el rail continuo (cosa que aún la experiencia no ha decidido si resultará ventajosa), hay la notable diferencia de que el rail está apoyado mientras que los cables, lo mismo que los hilos telegráficos, están suspendidos.

Es, pues, interesante examinar las condiciones de resistencia de los cables eléctricos sujetos á cambios de temperatura. En su forma de aplicación más usual, el problema se presenta en las siguientes condiciones: un cable de cuerda horizontal y de longitud dada, y, por consiguiente, colocado á tensión determinada, se enfría de un número de grados determinado; hallar el aumento de tensión que sufrirá, ó sea la tensión final. Parece que sería más general tomar un cable cualquiera, mas no sería de utilidad práctica esta generalización, primero, porque los cables son usualmente de cuerda poco inclinada, y segundo, porque cuando ésta es horizontal, es cuando se desarrollan los esfuerzos de mayor tensión.

Para resolver esta cuestión, se supondrá que la tensión del cable es sensiblemente igual en toda su longitud, cosa que en las aplicaciones dichas se aparta poco de la realidad y que de tomarla variable complicaría extraordinaria y sobre todo inútilmente la resolución. Debe notarse que así como el descenso de temperatura acorta el cable, el aumento de tensión que esto produce lo alarga, por razón de elasticidad. Así, pues, un cable de peso p por unidad de longitud y cuya cuerda horizontal es d , se coloca á una tensión inicial T_0 en su punto más bajo (que es casi igual á la que le da el montador al colocarlo con el aparejo de tesar), y esto se verifica á la temperatura t_0 . Cuando la temperatura desciende al valor t_1 , el cable, que tenía una longitud inicial l_0 , se habrá acortado por este descenso de una cantidad:

$$\lambda_t = kl_0(t_0 - t_1)$$

en donde k es el coeficiente de dilatación que vale sensiblemente 0,0000170 para el cobre y 0,0000144 para el alambre de hierro. Pero como la tensión del cable aumenta, llamando T' al aumento de tensión, éste producirá sobre la longitud primitiva del cable un alargamiento elástico:

$$\lambda_e = \frac{T'l_0}{A.E}$$

siendo A , la superficie transversal del cable y E el módulo de elasticidad, que vale, tomando por unidades el metro y el kilogramo, 13×10^9 para el cobre y 20×10^9 para el alambre de hierro.

Así, pues, el cable colocado á la tensión T_0 estará sujeto á las condiciones deducidas de las ecuaciones (3) y (40):

$$l_0 = a_0 \left(e^{\frac{d}{2a_0}} - e^{-\frac{d}{2a_0}} \right); \quad T_0 = pa_0$$

y al fin de su contracción térmica y alargamiento elástico á las

$$T_i = pa_i : l_i = a_i \left(e^{\frac{d}{2a_i}} - e^{-\frac{d}{2a_i}} \right) : T_i = T_o + T'$$

en donde la tensión final T_i es igual á la inicial T_o , más la producida por el alargamiento elástico. La variación de longitud entre la catenaria final y la inicial es igual al acortamiento producido por la contracción térmica menos el alargamiento producido por el aumento de tensión; luego

$$l_o - l_i = \lambda_t - \lambda_e$$

ó sea:

$$l_o - a_i \left(e^{\frac{d}{2a_i}} - e^{-\frac{d}{2a_i}} \right) = kl_o(t_o - t_i) - (T_i - T_o) \frac{l_o}{A_i E}$$

que atendiendo al valor de T_i antes mencionado, resulta:

$$(41) \quad a_i \left(e^{\frac{d}{2a_i}} - e^{-\frac{d}{2a_i}} \right) - pa_i \frac{l_o}{A_i E} = \\ = l_o - kl_o(t_o - t_i) - T_o \frac{l_o}{A_i E}$$

de aquí puede hallarse ya el valor de a_i , que resuelve el problema; pero como en el caso de una catenaria de poca flecha, del que ahora se trata, el valor de a_i es muy grande, puede fácilmente hallarse una primera aproximación, ya muy aproximada, desarrollando en serie, lo que da:

$$a_i \left[2 \frac{d}{2a_i} + 2 \frac{1}{1.2.3} \left(\frac{d}{2a_i} \right)^2 + \dots \right] - pa_i \frac{l_o}{A_i E} = \\ = l_o - kl_o(t_o - t_i) - T_o \frac{l_o}{A_i E}$$

que limitada al primer término da:

$$(42) \quad a_i = \frac{d - l_o \left[1 - k(t_o - t_i) - \frac{T_o}{A_i E} \right]}{pl_o} A_i E$$

y también se puede hallar la tensión final T_i de la anterior, que da:

$$(43) \quad pa_i = T_i = \left[\frac{d}{l_o} - 1 + k(t_o - t_i) \right] A_i E + T_o$$

teniendo en cuenta las relaciones (34) y (35) resulta:

$$\frac{l_o - d}{d} = \frac{1}{24} \frac{d^2}{a_o^2}$$

y como la diferencia entre d y l_o es muy pequeña, con pequeño error se podrá sustituir en el valor de T_i la cantidad

$$\frac{d}{l_o} - 1 \text{ ó sea } \frac{d - l_o}{l_o} \text{ por } \frac{d - l_o}{d} = - \frac{1}{24} \left(\frac{d}{a_o} \right)^2$$

que da para la tensión buscada:

$$(44) \quad T_i = T_o + \left[k(t_o - t_i) - \frac{1}{24} \left(\frac{d}{a_o} \right)^2 \right] A_i E$$

con lo que queda resuelto el problema.

Aplicándolo, para que sirva de ejemplo, á un cable de alambre de cobre de 10 milímetros de diámetro sostenido por postes á 30 metros de separación y colocado con una flecha de 0^m,20, con lo que quedará con una tensión de 394 kilogramos, ó sean de 5 kilogramos por milímetro cuadrado de sección, si se supone colocado en estas condiciones un día de verano en que la temperatura al sol sea de 30°, cosa que no tiene nada de exagerada, al llegar un día de invierno á 0°, quedará el cable sometido á una tracción de 794 kilogramos, ó sea más de 10 kilogramos por milímetro cuadrado, más del doble de la inicial, y que teniendo en cuenta el aumento que todavía introducirán las oscilaciones debidas al viento y á los troles de los carruajes que circulen, explican bien que dicho cable, encontrándose en condiciones de resistencia muy precarias, llegue á romperse por pequeños defectos ó algún punto débil que presente y que sin aquéllas no habrían determinado la ruptura. Se impone, pues, como medida de seguridad, colocar los cables todos, y especialmente los conductores eléctricos, con una flecha suficiente para no desarrollar en ellos tensiones demasiado elevadas y dársela mayor en verano á fin de impedir aumentos de tensión en los mismos, que por el ejemplo acabado de mencionar pueden fácilmente elevarse del simple al doble.

El resumen de las fórmulas generales y las particulares antes tratadas, y la pequeña tabla puesta á continuación, podrán ser de alguna utilidad en los cálculos referentes á problemas de esta naturaleza.

(Concluirá.)

LOS PUERTOS DE HAMBURGO, AMBERES

Y VARIOS OTROS DE EUROPA

POR EL INGENIERO GUIDO JACOBACCI

(CONTINUACIÓN)

PUERTO DE AMBERES

La oportunidad de esta sencilla é ingeniosa disposición debida á la clara inteligencia del Sr. G. Royers, Ingeniero Jefe de la Oficina Técnica Municipal de Amberes, resultó comprobada por todas las modificaciones que fué posible introducir en la distribución de los galpones, sin alterar el concepto fundamental de la organización y adaptándose á las circunstancias continuamente variables, con resultados siempre buenos y á completa satisfacción de los interesados.

El sistema estudiado se prestó con la mayor facilidad aun para cambios que no estaban previstos ni podían preverse. Así, por ejemplo, cuando por el mayor largo que fueron adquiriendo los vagones se creyó necesario sustituir trasladores á las vías férreas transversales, el cambio se hizo simplemente suprimiendo un galpón elemental, es decir, dejando dos zonas libres en lugar de una entre dos galpones sucesivos.

Como son fáciles las modificaciones en sentido paralelo al muelle, igualmente lo son en sentido perpendicular. En efecto, cada galpón elemental está formado por una serie de armaduras paralelas al muelle, á distancia de 3,50 metros una de otra y sostenidas cada 10,50 metros (tres espacios) por columnas. Así, el largo de los galpones elementales es