

Catenaria de longitud total l y cuyos extremos están á una distancia horizontal d y á un desnivel h :

Solución exacta:
$$\begin{cases} (29) & l^2 - h^2 = a^2 \left(e^{\frac{d}{2a}} - e^{-\frac{d}{2a}} \right)^2 \\ (30) & x' + x'' = a l_n \frac{l+h}{l-h} \\ & x' - x'' = d \end{cases}$$

Solución aproximada:
$$\begin{cases} (31) & a = 0,204 \sqrt{\frac{d^3}{l^2 - h^2 - d}} \\ (32) & x' + x'' = 2,303 a \log \frac{l+h}{l-h} \\ & x' - x'' = d \end{cases}$$

Caso particular de ser la cuerda horizontal:

(33) $a = 0,204d \sqrt{\frac{d}{l-d}}; \quad x' = -x'' = \frac{d}{2}$

Catenaria de cuerda horizontal. Flecha en función de la cuerda y el parámetro:

$$f = \frac{a}{2} \left[\left(\frac{d}{2a} \right)^2 + \frac{1}{3 \cdot 4} \left(\frac{d}{2a} \right)^4 + \frac{1}{3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6} \left(\frac{d}{2a} \right)^6 + \dots \right]$$

aproximadamente:

(34) $f = \frac{1}{8} \frac{d^2}{a}$ valores aproximados casi á $\frac{1}{400} \left(\frac{d}{a} \right)^5$
 $a = \frac{1}{8} \frac{d^2}{f}$ de d , y por defecto.

(35) $l - d = \frac{8}{3} \frac{f^2}{d}$ valor aproximado casi á $2d \left(\frac{f}{d} \right)^4$ y por defecto.

Propiedades mecánicas.

Coordenadas del centro de gravedad de un arco de catenaria, siendo las de sus extremos $(x' y')$ y $(x'' y'')$ y siendo $l = s' - s''$ la longitud de dicha catenaria

(36) $x_g = \frac{x's' - x''s'' - y' + y''}{s' - s''};$

(37) $y_g = \frac{s'y' - s''y'' + x' - x''}{2(s' - s'')}$

En una catenaria de cuerda horizontal:

(38) $x_g = 0; \quad y_g = \frac{y'}{2} + \frac{d}{2l}$

y la distancia de dicho centro al vértice (de éste, hacia arriba) es

(39) $\frac{f-1}{2} + \frac{d}{2l}$

(40) $T = py \quad ; \quad T_0 = pa.$

Tensión final T_1 de un alambre de longitud inicial l_0 , colocado á la temperatura t_0 , al pasar á la temperatura t_1 :

$T_1 = pa_1 \quad ; \quad (41) \quad a_1 \left(e^{\frac{d}{2a_1}} - e^{-\frac{d}{2a_1}} \right) - pa_1 \frac{l_0}{A_1 E} = l_0 - kl_0 (t_0 - t_1) - T_0 \frac{l_0}{A_1 E}$

y aproximadamente

(43) $T_1 = T_0 + \left[\frac{d}{l_0} - 1 + k(t_0 - t_1) \right] A_1 E$

ó también

(44) $T_1 = T_0 + \left[k(t_0 - t_1) - \frac{1}{2l} \left(\frac{d}{a_0} \right)^2 \right] A_1 E \quad ; \quad a_0 = \frac{T_0}{p}$

ó también si lo que se conoce es la flecha inicial de colocación

$T_1 = T_0 + \left[k(t_0 - t_1) - \frac{8}{3} \left(\frac{f_0}{d} \right)^2 \right] A_1 E.$

TABLA AUXILIAR

$\frac{x}{a}$	$\frac{y}{a} = \cos. h. \frac{x}{a}$	$\frac{s}{a} = \tan. \alpha = \text{sen. h. } \frac{x}{a}$
0.005	1.000013	0.005000
0.010	1.000050	0.010000
0.015	1.000113	0.015001
0.020	1.000200	0.020001
0.025	1.000313	0.025003
0.030	1.000450	0.030005
0.035	1.000613	0.035008
0.040	1.000800	0.040011
0.045	1.001013	0.045016
0.050	1.001250	0.050021
0.06	1.001801	0.060036
0.07	1.002451	0.070057
0.08	1.003202	0.080085
0.09	1.004053	0.090122
0.10	1.005004	0.100167
0.12	1.007209	0.120288
0.14	1.009816	0.140458
0.16	1.012827	0.160684
0.18	1.016244	0.180974
0.20	1.020067	0.201336
0.25	1.031413	0.252612
0.30	1.045339	0.304520
0.40	1.081072	0.410752
0.50	1.127626	0.521095
0.60	1.185465	0.636654
0.70	1.255169	0.758584
0.80	1.337435	0.888106
0.90	1.433086	1.026517
1.00	1.543081	1.175201
1.20	1.810656	1.509461
1.40	2.150898	1.904302
1.60	2.577464	2.375568
1.80	3.107473	2.942174
2.00	3.7622	3.6269
2.50	6.1323	6.0502
3.00	10.0677	10.0179
4.00	27.3082	27.2899
5.00	74.2100	74.2032

LOS FERROCARRILES ELÉCTRICOS

(Continuación.)

Sería temerario afirmar que el sistema monofásico goza de este favor exclusivo, y aun considerando sus innumerables ventajas, no se puede pensar que su superioridad sea tal que ante él debe desaparecer cualquier otro sistema de tracción eléctrica, y no sólo es así, sino que creemos que el sistema de corriente continua, merced á su progresivo perfeccionamiento, llegará á sobrepasar el sistema monofásico.

La característica y la ventaja del sistema monofásico es la tensión elevada bajo la cual puede hacerse la alimentación. Esta tensión ha ido gradualmente subiendo á 6.000 voltios, y numerosas experiencias ya comprobadas han de-

mostrado que esta tensión puede llegar y aun pasar de 11.000 voltios.

Superfluo sería insistir en las ventajas de una tensión tan elevada, tanto por permitir la alimentación económica de una red, como por reducir la dificultad de la toma de corriente. Las intensidades que es prácticamente posible alcanzar tienen un máximo que es diferente, según los distintos aparatos de toma de corriente. Las dificultades desaparecen cuando estas intensidades pueden, gracias á la elevación del voltaje, ser siempre mantenidas muy por bajo de estos límites.

Por otra parte, para la misma densidad media de corriente en los conductores, su sección decrece, como sabemos, en razón inversa de la tensión, mientras que la distancia entre los puntos de alimentación puede aumentarse proporcionalmente á ella sin que el rendimiento se modifique. Á la tensión de 11.000 voltios la reducción de la sección de los conductores no es apenas limitada más que por consideraciones de resistencia mecánica; las distancias entre los puntos de alimentación no lo son más que por consideraciones particulares; por ejemplo: el seccionamiento racional de la red.

Sobre las locomotoras el voltaje se lleva por medio de un transformador al valor conveniente para la alimentación de los motores. Así, el cable sometido á alta tensión es extremadamente reducido, y no presenta, entre el aparato de toma de corriente y el transformador, más que algunos puntos delicados que demandan precauciones especiales para su aislamiento; todo el resto de la instalación se establece á baja tensión y no difiere en nada, bajo este punto de vista, de las instalaciones de corriente continua.

El empleo de un transformador, sobre el cual pueden establecerse numerosas tomas ó voltajes diferentes, da una gran facilidad para la regulación de la velocidad, y el sistema monofásico presenta bajo este punto de vista una ventaja notable sobre los demás sistemas.

El punto débil del sistema monofásico es el funcionamiento del colector; todos los inconvenientes que presenta bajo el punto de vista del pequeño voltaje admisible, del peso específico elevado, del par de arranque menor, provienen de las limitaciones que impone el problema de la conmutación.

La dificultad tiende, en primer lugar, á que la intensidad de la corriente en un motor monofásico, variando según una ley periódica los valores máximos de la corriente á conmutar, son, para un mismo voltaje y una misma potencia, de 40 á 50 por 100 superiores á los que corresponden al motor de corriente continua; en segundo lugar, á que en la bobina en cortocircuito, bajo las escobillas, á la corriente principal se sobrepone una corriente local inducida por el flujo alternativo que atraviesa el inducido. Esta corriente local es análoga á la que se produciría en una bobina del secundario de un transformador puesto en cortocircuito, que puede alcanzar un valor más elevado que la corriente principal, á menos de no tener disposiciones especiales.

Es, sobre todo, por estas disposiciones especiales, por lo que difieren los diversos tipos de motores monofásicos.

En ciertos tipos se ha tratado de reducir la corriente inducida en la bobina en cortocircuito, aumentando su resistencia óhmica por la interposición de conexiones resistentes entre las bobinas y las láminas del colector. Estas resistencias se calculan para aumentar considerablemente la resistencia del circuito constituido por cada bobina, las láminas

correspondientes del colector y las escobillas; sin embargo, no aumentarán mucho las pérdidas óhmicas en el inducido, porque no son atravesadas por una corriente más que á los pasos bajo las escobillas de las láminas correspondientes del colector.

En otros tipos se ha tratado de mejorar la conmutación en velocidad, sacrificando algo el arranque. Esto es racional en muchas aplicaciones de la corriente monofásica, en las cuales los arranques son infinitamente menos frecuentes que en los tranvías urbanos. Las disposiciones ideadas para este objeto consisten generalmente en inducir dinámicamente en las bobinas en cortocircuito, con la ayuda de un flujo suplementario producido, bien en el rotor, bien en el *stator*, una fuerza electromotriz opuesta á la debida á la inducción estática. Á una cierta velocidad la compensación es completa, y las condiciones de conmutación son entonces perfectas.

Estas condiciones se realizan de diferentes maneras en los distintos tipos de motores monofásicos que se derivan de las patentes Latour, Winter-Eichberg, Atkinson, etc., etc. En los tipos de motores más modernos (patentes Thomson-Houston, Alexanderon, Behn Eschenbourg) se ha llegado más lejos, y se ha podido extender á una zona considerable de velocidades la conmutación perfecta.

Sin entrar en el detalle de estas disposiciones, diremos solamente que la mayor parte cumplen su objeto y que puede considerarse resuelto de una manera satisfactoria el problema de la conmutación á gran velocidad, y esto aun para velocidades muy diferentes á las del sincronismo.

Pero es preciso llegar á una conmutación aceptable en los arranques, y aquí es donde residen las condiciones limitativas del motor monofásico, cualquiera que sea su tipo.

En los arranques, cuando no es posible ninguna compensación del flujo estático en las bobinas en cortocircuito, no se puede reducir la fuerza electromotriz inducida, más que reduciendo la inducción, tanto más cuanto que la frecuencia adoptada es más elevada, puesto que la fuerza electromotriz que se trata de limitar es proporcional al producto de la inducción por la frecuencia. Así se explica el gran interés que hay, para los sistemas monofásicos, en reducir lo más posible la frecuencia de la corriente de alimentación. En efecto, para un mismo número de amperios admitidos por centímetro de periferia del inducido, el par y la potencia desarrollada varían en proporción del valor admitido para la inducción, es decir, en razón inversa de la frecuencia.

Se ve que, aun bajo el único punto de vista de la constitución de los motores, se llega á un momento en el que el descenso de la frecuencia deja de ser útil, y no lleva consigo más que inconvenientes sin compensación. Por esto es por lo que deseamos la *frecuencia más favorable* al motor. Para los grandes motores esta frecuencia parece ser de 15 ó 16 períodos.

En ciertos sistemas monofásicos, principalmente estudiados bajo el punto de vista de una frecuencia más elevada que la favorable, se ha tratado de vencer la dificultad, disminuyendo la inducción en el arranque, volviéndola á llevar á su valor normal una vez que se ha adquirido la velocidad corriente. Según el principio del sistema Winter-Eichberg, se han ejecutado las instalaciones más importantes del sistema monofásico. Pero este principio tiene por inconveniente reducir más ó menos el par en el arranque; contrariamente á lo que más generalmente se cree, el Winter-Eichberg permite el empleo de frecuencias más bajas que la que hemos considerado como *la más favorable*.

Aun con adopción de la frecuencia más favorable, el motor monofásico no puede rivalizar, bajo el punto de vista del peso y de la utilización de los materiales, con el motor de corriente continua.

En efecto; la inducción, variando en un mismo período entre cero y su valor máximo—su valor medio, del cual depende el valor medio del par, es inferior al admisible en el motor de corriente continua. Además, para igual calentamiento en el inducido, el valor eficaz de la corriente es ligeramente inferior al valor correspondiente en motor de corriente continua.

Por estas dos razones, y por otras varias sacadas de la diferencia de constitución mecánica del *stator*, las dimensiones de un motor monofásico deberán siempre, aun con la frecuencia más favorable, pasar por lo menos en un 20 á 25 por 100 de las de un motor de corriente continua calculado según las mismas bases y teniendo en cuenta el mismo esfuerzo de tracción. Esta inferioridad se acentúa á medida que la frecuencia admitida se diferencia más de la favorable.

Sin embargo, en una comparación racional, es conveniente no perder de vista que en los motores destinados á la tracción están raramente determinadas sus dimensiones por la condición del par máximo que tienen que desarrollar. Casi siempre estas dimensiones están determinadas por la condición del calentamiento máximo admisible en condiciones corrientes. Bajo el punto de esta última consideración, la inferioridad del motor monofásico es menor, sobre todo para aquellos motores en los cuales la frecuencia de la alimentación es más grande que la frecuencia favorable.

De una manera general, siendo las condiciones iguales, las pérdidas interiores en un motor monofásico serán siempre más grandes que en un motor de corriente continua, porque, además de las causas de pérdidas inherentes á las dos clases de motores, el motor monofásico tiene otras que le son peculiares: las pérdidas suplementarias por *histeresis* en el *stator*, las pérdidas óhmicas por inducción en las bobinas en cortocircuito y otras pérdidas óhmicas cuyas causas son variables.

En las circunstancias más favorables es difícil reducir la importancia de las pérdidas inherentes á los motores monofásicos al 10 ó 15 por 100 de las pérdidas peculiares á toda clase de motores eléctricos. Se puede, por lo tanto, decir que, bajo el punto de vista del calentamiento en régimen permanente, el motor monofásico no podrá desarrollar más que una potencia media inferior por lo menos en un 10 á 15 por 100 de la que podría desarrollar el motor de corriente continua de dimensiones equivalentes.

En todas estas consideraciones no hemos tenido en cuenta el peso y lo complicado de los aparatos auxiliares que forman parte de la constitución de los equipos monofásicos, principalmente en los transformadores de tensión.

Á medida que aumenta la velocidad de los trenes, y, por consiguiente, la proporción del peso de los equipos con relación al peso total del tren, esta última consideración toma más importancia y acentúa la inferioridad del sistema monofásico para la tracción á gran velocidad.

Si después de estas consideraciones técnicas que demuestran la inferioridad de los motores monofásicos con relación á los de corriente continua, tenemos en cuenta un punto de vista muy importante, la práctica, veremos que los motores monofásicos son también inferiores bajo estas consideraciones á los motores de corriente continua. El empleo de los motores monofásicos se excluye en disposiciones tan intere-

santes como las de las locomotoras sistema *Auvert* y *New York Central*, de las cuales hemos hablado al principio de este trabajo.

Las dificultades que bajo el punto de vista de la práctica presentan los motores monofásicos, han dado lugar á la implantación de tipos de locomotoras que toman la corriente bajo forma monofásica, y la utilizan en motores de corriente continua, verificándose la transformación por diferentes medios. Esta utilización colectiva de la corriente alterna y continua no ha dado hasta el presente muy buenos resultados, sin que pueda decirse sea una mala solución, y tal vez con algunas modificaciones en los motores empleados tenga la sanción de la práctica.

Una vez estudiados los sistemas trifásicos y monofásicos, veamos el tercer sistema, el de corriente continua.

El sistema de corriente continua ha poseído hasta estos últimos tiempos un monopolio casi absoluto de la tracción eléctrica. Este inmenso desarrollo es debido á que el motor-serie de corriente continua se adapta perfectamente á su aplicación para tranvías, metropolitanos, etc., etc.

Durante los últimos años los perfeccionamientos cada vez más considerables de esta clase de motores ha venido á aumentar aún más sus aplicaciones y su desarrollo. El perfeccionamiento más notable ha sido el empleo de polos complementarios, llamados de conmutación, que ha resuelto el problema de la conmutación de una manera perfecta y ha dado grandes facilidades para la regulación de la velocidad. Permitiendo modificar á voluntad, entre límites muy extensos, la relación de los amperios-vueltas inductores á los amperios vueltas inducidos, hace posible la regulación de la velocidad para cargas diferentes.

Se ha reprochado á esta clase de motores el hecho de que, por consecuencia de la caída de la curva de la velocidad en función de la corriente, la potencia se encuentra reducida para grandes velocidades, precisamente en el momento en que sería necesario disponer del máximo de potencia. La regulación del campo poniendo en *shunt* los inductores, permite hacer desaparecer este inconveniente.

Frente al motor trifásico, el motor-serie de corriente continua presenta en los arranques una ventaja considerable, porque no solamente utiliza toda su potencia hasta la máxima velocidad, sino que esto lo efectúa en pleno rendimiento. Además, gracias al refuerzo de la inducción para velocidades inferiores á la máxima, permite, *para un mismo valor de la potencia máxima absorbida en la línea*, desarrollar con velocidades reducidas un par que durante el arranque puede pasar en un 35 á 40 por 100 del que desarrollaría el motor trifásico en iguales condiciones.

El par máximo es, por otra parte, independiente del voltaje de alimentación, y no está limitado más que por evitar el que las ruedas patinen.

Frente al motor monofásico, la ventaja en el arranque del motor-serie es también muy considerable, puesto que hemos visto que con el motor monofásico teníamos que disminuir más bien que aumentar la inducción durante el primer período del arranque.

Frente á los dos tipos, el motor serie de corriente continua presenta la ventaja de adaptarse perfectamente á todas las disposiciones mecánicas para el funcionamiento de los ejes motores.

Si añadimos á todo esto que su peso específico es muy pequeño, su rendimiento muy elevado bajo una tensión considerable de carga, su construcción muy sencilla y conci-

liable con el acceso fácil á todas las partes, reconoceremos que se realiza (especialmente para grandes locomotoras) el motor de tracción ideal.

Por el contrario, está fuera de toda discusión que el voltaje bajo el cual se emplean estos motores es muy pequeño para convenir á las instalaciones de gran importancia; las potencias que es preciso transmitir en esta clase de instalaciones conducen, para esta tensión, á intensidades de corriente demasiado elevada; resulta un gasto excesivo para el establecimiento de los conductores de alimentación y una multiplicación costosa de subestaciones de transformación, mal utilizadas como consecuencia de una débil carga media, y muy costosa bajo el doble punto de vista de los gastos de primer establecimiento y de los gastos de explotación.

Es, por lo tanto, indispensable aumentar las tensiones actuales en proporciones considerables, lo cual daría lugar á importantes inconvenientes que es preciso tener muy en cuenta.

Algunas experiencias se han hecho ya á este objeto, porque la mayor parte de las instalaciones actuales funcionan á tensiones superiores á 600 voltios. Por ejemplo, el Metropolitano de Berlín, que funciona á 800 voltios, con alimentación por el tercer carril; la línea de Bon á Colonia, que funciona á 1.100 voltios, con alimentación con trole; la línea de La Muré á Saint Georges de-Comniers, á 1.200 voltios; la línea de Maizières á Sainte Marie aux Chénes, á 2.000 voltios. El servicio de estas líneas se hace regularmente y no se ha tropezado con serias dificultades que provengan de la elevada tensión empleada.

Puede, por lo tanto, emplearse sin temeridad la corriente continua bajo voltajes superiores á 600 voltios. La cuestión queda reducida á apreciar en qué medida este aumento es prácticamente factible con los medios actuales, y á estudiar si las mejoras posibles son suficientes para responder á las necesidades de un aumento grande de tracción.

(Concluirá.)

LOS PUERTOS DE HAMBURGO, AMBERES

Y VARIOS OTROS DE EUROPA

POR EL INGENIERO GUIDO JACOBACCI

(CONTINUACIÓN)

PUERTO DE AMBERES

El siguiente cuadro pone en evidencia el movimiento que se desarrolla en las estaciones mencionadas.

INDICACIONES	Unidad.	AÑOS			
		1900	1903	1904	1905
Mercaderías en salida.	Tons...	745.421	666.123	»	935.279
Idem en llegada.....	»	1.272.454	1.865.444	»	1.963.447
Total.....	»	2.017.875	2.531.567	2.609.866	2.898.726
Vagones en salida...	Núm..	173.306	237.168	278.326	342.005
Idem en llegada.....	»	173.205	236.536	279.006	344.660
Total.....	»	346.511	473.704	557.326	686.665
Por día.....	»	950	1.298	1.527	1.880

Los vagones vacíos, incluidos en dichas cantidades en 1905, fueron de 135.344 en salida y 37.111 en llegada, lo que representa una proporción poco superior al 25 por 100. El peso útil por vagón cargado fué, por término medio, de 5,6 toneladas.

* * *

Las grúas colocadas sobre los muelles del Escalda son 160 en total. De éstas, 70 pueden levantar pesos de 1.500 kilogramos, 88 alcanzan á 2.000 kilogramos y dos llegan á 2.500 kilogramos. La colocación de dichas grúas es la siguiente:

Los antiguos muelles poseen 84 grúas de pórtico de 1,5 y de 2 toneladas. Como en dichos muelles hay un largo de 620 metros ocupado por esclusas, embarcaderos, etc., y otro de 225 metros en compostura y desprovisto de maquinaria, la distancia media que resulta entre las grúas en los 2.655 metros restantes es de 31 á 32 metros.

En los nuevos muelles existen en total 76 grúas de 2 á 2,5 toneladas, repartidas de modo diferente en sus dos secciones. La parte Norte, de 690 metros de largo efectivo y de 610 metros de desarrollo útil, tiene 23 grúas, todas de pórtico, con una distancia media de 26,5 metros. La parte Sud, frente al gran galpón, tiene un largo efectivo de 1.310, que se reduce á 1.200 por estar en compostura y desprovisto de grúas un trecho de 110 metros. Las grúas son de 2 toneladas de poder, siendo 46 de medio pórtico, y 7, colocadas en los extremos, de pórtico para una vía. La distancia media entre las grúas resulta, pues, de 23 metros.

Las grúas de los muelles son hidráulicas, salvo una emplazada en el extremo Norte de los antiguos muelles, que se ha transformado en eléctrica para ensayo. El resultado que se obtenga servirá de norma para las instalaciones en los ensanches futuros. El agua se comprime á 48 atmósferas en una usina establecida en la proximidad de los diques fluviales, provista de dos motores de 250 caballos de fuerza cada uno. Esta usina tiene además una instalación para los cabrestantes eléctricos colocados sobre los muelles para el servicio de los vagones y mesas giratorias.

En los muelles del Escalda existen varios embarcaderos para los vaporcitos que recorren ó cruzan el río. Están formados por grandes pontones flotantes mantenidos adherentes al muelle por grampas que pueden correr dentro de guías aseguradas en el muro, y están reunidos á tierra por medio de puentes. Algunos son accesibles también á los carros, como el de Steen, que tiene un largo de 100 metros por un ancho de 20. Otro embarcadero, al Sud de éste, sirve como estación de pasajeros del ferrocarril del país de Waes, cuyos rieles no llegan á la ciudad misma de Amberes, quedando sobre la orilla izquierda del río.

Instalaciones para petróleos.

Un servicio complementario importante instalado al Sud de los muelles del Escalda es el de petróleos. A 140 metros de la extremidad de los nuevos muros se construyó á ese objeto un muelle adentro en el río y paralelamente á la orilla, sobre un largo de 330 metros calculado para dar atraque á tres buques. La construcción se hizo por medio de 14 pilares, con fundaciones de aire comprimido, á distancia de 25 metros de eje á eje y reunidos por tramos y piso compuestos de hormigón armado. Bajo el piso están colocadas