

Tracción eléctrica ¹

La línea aérea y las tomas de corriente del Metropolitano Alfonso XIII, por Carlos Laffitte, ingeniero industrial, subdirector del Metropolitano Alfonso XIII.

TERCERA PARTE

ESTUDIO DE LAS TOMAS DE CORRIENTE

Generalidades sobre tomas de corriente

Hay que considerar en la toma de corriente el órgano de toma propiamente dicho y su soporte; el primero, que es el que va en contacto con el hilo, puede ser de cuatro tipos: el rodillo, la polea, el frotador longitudinal o cuchara y el frotador transversal o arquillo. El rodillo ha sido poco empleado y ha dado mal resultado, lo cual se explica porque participa de los inconvenientes de la polea y no de sus ventajas; la polea es la toma empleada ordinariamente en los troles de los tranvías; la cuchara se empleó al principio de la tracción eléctrica, y parece que vuelve a utilizarse en América, si bien no creemos que se generalice, porque es menos racional que el arquillo. En resumen: los órganos de toma más empleados son la polea y el arquillo.

El empleo de la polea obedece al deseo de suprimir el rozamiento de deslizamiento entre el hilo y la toma de corriente, sustituyéndolo por el de rodadura, con lo que se pretende disminuir el desgaste del hilo de trabajo y del órgano de toma. Nada de esto se consigue con la polea, cuyo empleo parte del error fundamental de atribuir exclusivamente el desgaste al rozamiento, cuando su causa principal es, como demuestra la experiencia, el paso de la corriente, especialmente cuando el deslizamiento se efectúa en superficies lubricadas; en efecto, se observa en todas las líneas, y lo hemos comprobado en el Metro, que el desgaste es insignificante en las pendientes, donde se marcha a regulador cerrado, y, en cambio, el desgaste máximo se presenta en las rampas fuertes y a la salida de las estaciones, donde es máximo también el consumo de corriente. Siendo esto así, se comprende que para que la toma de corriente se efectúe bien hace falta un contacto eficaz entre la toma y el hilo de trabajo, que es lo contrario de lo que ocurre con la polea, que, teóricamente, tiene sólo un punto de contacto con el hilo. Es más: ni siquiera se consigue con la polea evitar el deslizamiento entre la toma y el hilo, porque siendo su diámetro reducido, giran a velocidades del orden de 4 000 a 5 000 revoluciones por minuto, como se ve muy elevadas, y que en la práctica conducen a que las poleas, además de rodar, patinen en el hilo. Es verdad que el deslizamiento es a menor velocidad que en los frotadores, porque la aminora la rodadura; pero esta circunstancia es desfavorable, porque el rozamiento aumenta al disminuir la velocidad en superficies no lubricadas; la ausencia de lubricación es otro defecto de la polea respecto al frotador de arquillo. Si a esto se añade que la pequeña superficie de apoyo en el hilo es también desfavorable, desde el punto de vista del desgaste por rozamiento, la inferioridad de la polea resulta

evidente. Como consecuencia de lo expuesto, la duración de las poleas es pequeña, pues aun en el servicio urbano, es decir, de pequeña velocidad y con corrientes poco intensas, no pasa, en general, de 10 000 kilómetros en los casos más favorables.

Cuando se trata de corrientes intensas y aumenta la velocidad, los defectos de la toma de polea se hacen más sensibles; y así ocurre que en el servicio interurbano la duración de las poleas es tan sólo de unos 5 000 kilómetros, debido, por un lado, a que se emplean en esta clase de servicio motores más potentes que en el urbano, lo que da lugar a corrientes más intensas, y, por otro, a que la mayor velocidad da lugar a oscilaciones del trole, que dificultan la toma de corriente y aumentan el desgaste. El arquillo, en cambio, permite, si está bien dispuesto, un contacto eficaz con el hilo de trabajo, lo que unido a la lubricación de que se le suele dotar hace que su desgaste sea lento; esto conduce, en general, a una gran duración del hilo de trabajo, cuyo desgaste está ligado al del órgano de la toma de corriente. El arquillo es, por tanto, la toma indicada para corrientes intensas, y bien suspendido se presta muy bien a la captación de corriente a grandes velocidades.

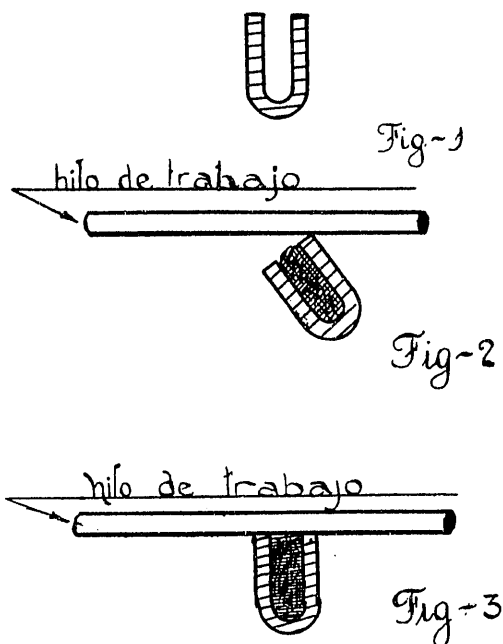
Creemos, en vista de lo dicho, indiscutible la superioridad del frotador transversal o arquillo sobre la polea, especialmente tratándose de corrientes intensas (caso del Metro). A nuestro juicio, la polea debería proscribirse por completo en instalaciones nuevas, porque, además de los expuestos, tiene los conocidos inconvenientes de salirse del hilo con alguna facilidad, necesitar agujas aéreas y construcción axial complicada en curvas, etc. En las instalaciones urbanas, donde se utilice de antiguo, puede tolerarse para evitar el gasto y la perturbación que acarrearía la transformación de las tomas de corriente y de la línea; en las interurbanas, donde se utilice la polea, será, en general, conveniente la transformación, para adoptar en ellas tomas de corriente de arquillo. En el caso del Metro es indudable, por tanto, la conveniencia del empleo de tomas de arquillo.

Lira y pantógrafo

Estudiemos ahora los soportes del órgano de toma de corriente. Las primeras tomas de arquillo eran del tipo llamado «lira», por su forma, y también «arco Siemens», pues fué esta Casa la que las ideó y generalizó su empleo en Alemania y después en otros países. La lira primitiva es bastante imperfecta; el frotador de aluminio va sujeto directamente a la lira, de modo que desde el punto de vista de la suspensión es idéntica al trole o pértiga, y poco adecuada, por tanto, para grandes velocidades; la sección del frotador es, generalmente, la de la figura 1.^a, estando la ranura destinada, como es sabido, a ser rellena de grasa lubricante; esta sección de frotador daba mal resultado en las tomas primitivas, porque en ellas la ranura estaba en el plano de la lira, y como ésta trabaja inclinada, resultaba (fig. 2.^a) que trabajaba e

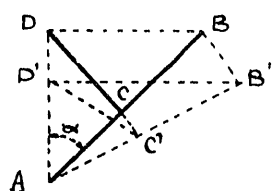
¹ Véase la REVISTA de 1.º de diciembre de 1929, pág. 444.

frotador sobre una arista y sin engrase, desapareciendo sus principales ventajas. Se trató más tarde de corregirlo inclinando el plano de la ranura con relación al de la lira (fig. 3.^a), con lo que el trabajo es mejor, pero sólo para una inclinación de la lira, o



sea para una determinada altura de la línea; en cuanto ésta varía o se producen oscilaciones, por el movimiento del vehículo u otras causas, el contacto y el engrase son imperfectos. Estas imperfecciones, unidas al empleo del aluminio para los frotadores, han hecho que la superioridad de esta toma de corriente no se haya demostrado palpablemente desde un principio y que haya subsistido la de la polea, a pesar de sus inconvenientes; pero si se corrigen los defectos de la lira con arquillos bien suspendidos, de modo que siempre apoyen bien en el hilo, como veremos más adelante, esta superioridad se afirma de un modo indiscutible.

El pantógrafo puede considerarse como derivado de la lira, la cual, como mecanismo de sustentación del órgano de toma de corriente, no difiere de la pértega o trole. Si proyectamos el extremo del brazo AB (fig. 4.^a), que figura

Fig. 4.^a

una lira o una pértega cuya base es A y apoya en B en la línea, sobre la vertical, y unimos la proyección D con el punto C medio de AB , tendremos, suponiendo articulado el punto C , el medio pantógrafo ACD , cuyo punto de contacto con la línea será ahora D en vez de B . La pértega, al variar la altura de la línea, gira alrededor de A describiendo el punto B el arco BB' , y ocupando la pértega posiciones tales como AB' , la posición correspondiente del brazo CD del pantógrafo se obtiene en seguida y es la $C'D'$. En general, no ocurre con los pantógrafos, como hemos supuesto, que los puntos A y D estén en la misma vertical, por lo que su asimilación con la pértega o lira es sólo aproximada; pero resulta conveniente para comparar el pantógrafo con las otras tomas de corriente.

Comparación del pantógrafo con la pértega y la lira

En la figura 4.^a se ve que la trayectoria del punto de contacto del pantógrafo con la línea es una recta vertical, mientras que la de la lira y pértega es un arco de circunferencia; se ve también que estas últimas tomas de corriente tienen teóricamente una sola articulación (en la práctica deben tener dos si se emplea el frotador para que éste apoye bien en la línea en las distintas posiciones de la toma de corriente) mientras que el medio pantógrafo tiene tres, o sea seis el pantógrafo completo (prácticamente son más, como veremos). Salta a la vista la mayor complicación del pantógrafo a cambio de algunas ventajas que vamos a examinar.

La verticalidad de la trayectoria del pantógrafo es ventajosa desde el punto de vista de la masa equivalente del frotador; se comprende, desde luego, que para una misma variación de altura y de la línea el esfuerzo de inercia de la masa del frotador sea mayor en el caso de la lira o trole, por ser más larga la trayectoria que en esta última describe el punto B que la correspondiente al punto D del pantógrafo. En el capítulo que destinamos al estudio de la masa equivalente se ve que si ésta es m para una trayectoria vertical, para el caso de la lira es $\frac{m}{\sin^2 \alpha}$, siendo α el ángulo que ésta forma con la vertical; al aumentar α disminuye la masa equivalente, que se aproxima tanto más a m cuanto más cerca está α de los 90° .

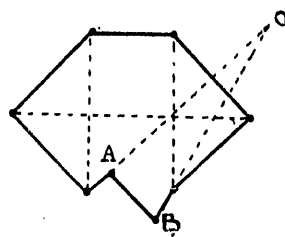
Otra ventaja de la citada verticalidad es que con ella la posición del frotador con relación a los ejes del vehículo es independiente de la altura de la línea; como el replanteo de ésta en las curvas depende de esta posición, empleando pantógrafos es independiente de la altura de la línea, cosa que no ocurre si se emplean los otros tipos de toma.

Los esfuerzos horizontales se traducen en la pértega y en la lira en variación de la presión del órgano de toma sobre la línea, variación que es positiva o negativa según el sentido del esfuerzo horizontal. Estos esfuerzos proceden de las aceleraciones positivas o negativas del vehículo o de la acción del viento durante la marcha; los primeros dan una componente

vertical $= \frac{mj}{\operatorname{tg} \alpha}$, en la que m es la masa equivalente y j la aceleración del vehículo; la componente vertical debida a la acción del viento es $\frac{F}{\operatorname{tg} \alpha}$, siendo F

el esfuerzo horizontal. Resulta de lo expuesto que el adoptar valores grandes de α es también favorable por este concepto.

En los pantógrafos se equilibran las acciones horizontales mediante el empleo de bielas adecuadas; en la figura 5.^a se ha representado una de estas bielas AB , no habiéndose figurado la otra biela, que suele ser cruzada con la anterior y se sitúa ordinariamente en el extremo opuesto del pantógrafo. Para el buen funcionamiento del aparato es necesario que al subir o bajar el pantógrafo las velocidades de las articulacio-

Fig. 5.^a

nes A y B sean iguales, o, lo que es lo mismo, que lo sean las distancias de estos puntos a su centro instantáneo de rotación O . Esto no puede conseguirse con exactitud en todas las posiciones del pantógrafo, lo que obliga a dar cierta holgura a las articulaciones A y B y constituye una pequeña imperfección del sistema; aparte de esto, la compensación de los esfuerzos horizontales complica el pantógrafo introduciendo cuatro articulaciones más.

El pantógrafo funciona en igualdad de condiciones en los dos sentidos de marcha, y es, por tanto, perfectamente reversible; la lira y la pértiga pueden funcionar también en los dos sentidos, pero las condiciones de funcionamiento no son idénticas. En efecto, a un desplazamiento vertical h corresponde en estas tomas uno horizontal $= \frac{h}{\operatorname{tg} \alpha}$; este desplazamiento se efectúa en sentido contrario al de la marcha del vehículo cuando el sentido de la marcha de éste es el normal; si se invierte la marcha y la toma trabaja, como vulgarmente se dice, a contrapelo, el desplazamiento en cuestión se suma al del vehículo, lo cual aumenta la velocidad horizontal del frotador y disminuye, por tanto, el tiempo en que se efectúa el desplazamiento h , lo que implica un aumento de la aceleración de este movimiento vertical y de la fuerza de inercia correspondiente. Vemos, por tanto, que la inclinación de la toma se traduce en la disminución de las fuerzas de inercia en la marcha normal y en aumento en la marcha en sentido contrario, lo que conduce a mejor funcionamiento en el sentido normal de marcha. La influencia de la inclinación de la toma en el aumento de las fuerzas de inercia, al invertirse la marcha normal, puede calcularse fácilmente en cada caso basándose en lo expuesto, una vez determinada la masa equivalente, y se ve que dicha masa equivalente y el aumento de aceleración disminuyen al aumentar α , por lo que las grandes inclinaciones son favorables a la reversibilidad; esto se ve, desde luego, a sentimiento por la mayor tendencia a tomar la posición vertical de la toma en su marcha «a contrapelo» cuando disminuye α .

Resumiendo lo expuesto, las condiciones de inferioridad de la pértiga y la lira respecto del pantógrafo, considerados como soportes del órgano de toma de corriente, son: aumento de la masa equivalente, variación con la altura de la línea, de la posición del órgano de toma respecto al eje del coche, influencia de los esfuerzos horizontales y peores condiciones de reversibilidad. Todas estas causas de inferioridad pueden traducirse en cifras en cada caso, lo que permite ver si son compatibles con un buen funcionamiento; así lo hemos hecho para el caso que nos ocupa, como se verá en el estudio de la toma de corriente del «Metro», en el que se demuestra que para este caso concreto las citadas causas de inferioridad carecen de importancia.

En cuanto a los inconvenientes del pantógrafo, el fundamental es su complicación, que se traduce en dificultad de construcción, montaje y conservación del aparato. En efecto, éste consta de un gran número de articulaciones situadas en planos distintos, y si su construcción no es perfecta se acodalan una o varias articulaciones, produciéndose esfuerzos inadmisibles en la línea; además, la mayoría de los pantógrafos forman una estructura hiperestática, o sea de líneas superfluas, lo cual agrava cualquier peque-

ño defecto de construcción o de montaje. En los pantógrafos modernos se procura corregir estos defectos construyéndolos con gran esmero, suprimiendo las líneas superfluas de su estructura y dotándolos de articulaciones de bolas; se consigue así construir aparatos que, si bien resultan más costosos que los antiguos, funcionan bien siempre que estén bien montados y se atienda a su conservación.

Como conclusión de lo expuesto, creemos que debe adoptarse, siempre que sea admisible, la solución más sencilla del problema, o sea el soporte de lira o pértiga, reservando el empleo del pantógrafo a los casos en que sea necesario, cuidando entonces que reúna este aparato los requisitos indicados para asegurar su buen funcionamiento. En cuanto al órgano de toma, debe ser siempre, a nuestro juicio, el frotador transversal o arquillo.

Estudio de la toma de corriente del «Metro»

Hemos visto, en la primera parte, que la primera condición que exige un buen funcionamiento es que el esfuerzo de la toma sobre la línea en el movimiento ascendente difiera poco del que ejerce en su movimiento descendente; como la diferencia entre ambos obedece a rozamiento o imperfección de las articulaciones, conviene, a ser posible, reducir su número y simplificar su disposición, lo que conduce a la solución de la lira o de la pértiga, que sólo tienen dos articulaciones, situadas en el mismo plano, formando un sistema isostático en cuyo funcionamiento no influyen pequeñas imperfecciones de construcción o montaje; pero hemos visto que esta clase de tomas ofrece algunos inconvenientes, y conviene analizarlos para ver si tienen realmente importancia en este caso.

El inconveniente más notable es la influencia de los esfuerzos horizontales. En nuestro caso hay que considerar, principalmente, los debidos a las aceleraciones de los trenes; partiendo de una masa de $\frac{20}{g}$ kilogramos para los arquillos, su soporte y la parte de la de los brazos, que debe considerarse unida a las anteriores para estos efectos y de una aceleración máxima de arranque de $0,70 \text{ m/l}''^2$, la variación de presión correspondiente para $\operatorname{tg} \alpha = 2$ es $\frac{20 \times 0,70}{2g}$,

o sea, $0,715 \text{ kg}$; es decir, que la presión de la toma de corriente sobre el hilo, que debe ser, como luego veremos, de 10 kg , será de $10 \pm 0,715 \text{ kg}$, variación perfectamente admisible. Durante las deceleraciones la variación será algo mayor, por ser la deceleración de frenado mayor que la aceleración de arranque; pero durante el período de frenado no se toma corriente, y la variación de presión, fácil de calcular, no tiene importancia desde el punto de vista mecánico; en cuanto a la acción del viento es, en nuestro caso, de poca importancia, porque las velocidades de marcha son moderadas y pequeña la superficie de la toma de corriente. Como vemos, adoptando la inclinación $\operatorname{tg} \alpha = 2$ puede descartarse la causa de inferioridad que resulta de la influencia de los esfuerzos horizontales.

Otra causa de inferioridad es el aumento de la masa equivalente de la toma. En capítulo aparte la determinamos y resulta ser $m_e = \frac{22}{g \operatorname{sen}^2 \alpha}$; en nuestro

caso ($\text{tg } \alpha = 2$) $m_e = \frac{29}{g}$. La masa equivalente de los pantógrafos primitivos es (véase el capítulo correspondiente) $\frac{50,7}{g}$ kg, o sea bastante más que la de la nueva toma; claro es que los pantógrafos modernos son más ligeros; con todo, no parece fácil mejorar el valor hallado para la nueva toma de corriente, cuya inferioridad a este respecto no existe.

En lo que se refiere a la reversibilidad, y más concretamente a la marcha «a contrapelo», se ve, aplicando la teoría de la línea aérea, que las aceleraciones verticales son muy pequeñas cuando no existe diferencia apreciable entre el esfuerzo ascendente y descendente de la toma, y, debido a ello, carece de importancia el aumento a que puede dar lugar la inclinación de la lira o pértiga en este sentido de marcha. Pueden, sin embargo, producirse aceleraciones verticales de importancia en los puntos donde existan desnivelaciones bruscas de línea; pero la altura de los obstáculos que las producen es sólo de unos milímetros en una línea bien conservada, y éstos son fácilmente franqueados gracias a la suspensión elástica de los arquillos, que más adelante describimos.

Creemos haber demostrado que no existe, por lo menos en nuestro caso, inferioridad alguna digna de consideración de la lira y de la pértiga respecto al pantógrafo, considerados como soporte de la toma de corriente, y como estos tipos de aparatos son más sencillos y fáciles de construir y conservar, nos proponemos utilizarlos en el ferrocarril que nos ocupa. Hasta ahora los utilizados son del tipo «lira»; pero tenemos en construcción otros del tipo «pértiga», que será, probablemente, el que prevalezca en futuras construcciones.

Suspensión de los arquillos

En las tomas de corriente primitivas, el arquillo era único y estaba sujeto rigidamente al soporte. Esta disposición, poco recomendable, prevalece aún en las tomas de polea y lira; en los pantógrafos es raro que se conserve; su funcionamiento es en todos los casos imperfecto, sobre todo a gran velocidad, lo que obliga al empleo de dos tomas de corriente por vehículo. Se comprende que sea así porque durante la marcha se producen, especialmente en el paso del arquillo por puntos duros, aceleraciones verticales de pequeña amplitud, pero de valor considerable, a las que no puede amoldarse el soporte de la toma de corriente por su inercia relativamente considerable y que hacen que se despegue el arquillo o que produzca esfuerzos excesivos sobre la línea.

Para remediar estos defectos conviene emplear varios arquillos y suspenderlos elásticamente; esto último hace que el soporte no participe de los movimientos de gran aceleración y pequeña amplitud, que son absorbidos por la suspensión del arquillo. Por otra parte, al ser varios los arquillos se pueden captar corrientes de gran intensidad sin dar a éstos dimensiones excesivas, que serían perjudiciales a su buen funcionamiento; además, distanciándolos convenientemente, abordan y abandonan sucesivamente los puntos duros, lo cual es favorable a la buena captación de la corriente.

El número mínimo de arquillos debe ser, a nuestro juicio, dos, y creemos que no conviene rebasarlo si no es necesario, porque se presta el empleo de dos

arquillos a montarlos en los extremos de un balancín articulado, lo cual asegura la igualdad de la presión de trabajo de los dos arquillos, cuya superficie de contacto se aprovecha así en las mejores condiciones.

La suspensión elástica de los arquillos puede realizarse empleando arquillos giratorios con muelle antagonico o montando los arquillos sobre muelles helizoidales. La primera disposición empleada en las líneas de alta tensión no parece racional, porque al girar el arquillo el apoyo del frotador sobre el hilo es imperfecto, a menos que no sea también giratorio el frotador respecto al arquillo, lo cual complica su construcción. Es mejor, a nuestro juicio, la suspensión sobre muelles helizoidales, y esto explica que se haya generalizado cuando hay que captar grandes

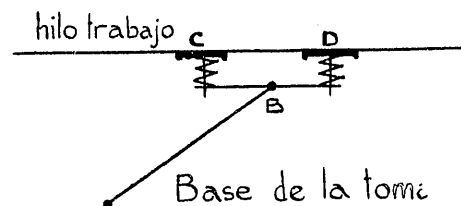


Fig. 6.^a

amperajes, como ocurre en las líneas de corriente continua y, particularmente, en el caso que nos ocupa. La disposición que preconizamos es, por tanto, la representada esquemáticamente en la figura 6.^a, en la que A es la base de la toma de corriente, cuyo órgano de soporte es AB. En B articula el balancín CD, en cuyos extremos, y suspendidos sobre muelles helizoidales, están los arquillos, que figuramos aplicados al hilo de trabajo.

Constitución de los arquillos

En los arquillos hay que considerar: el frotador, provisto ordinariamente de ranura de engrase, y su soporte con sus cuernos protectores.

Son varias las materias empleadas en los frotadores; hemos utilizado nosotros el aluminio, el grafito y el cobre; conocemos líneas en que se ha utilizado el bronce, el latón y el hierro. Actualmente se emplea principalmente el aluminio en líneas urbanas y en ferrocarriles de alta tensión, y el cobre cuando hay que captar grandes intensidades de corriente. El aluminio tiene la ventaja indiscutible de su poca densidad y el inconveniente, indiscutible también, de su fusibilidad. Otra ventaja que se le atribuye es el ser más blando que el cobre; pero ésta nos parece discutible. Aunque el desgaste fuera principalmente debido al frotamiento, es indudable que no dependería exclusivamente de la dureza del frotador, sino que influiría el estado de su superficie, pudiendo ser igual y aun mayor con un metal blando de superficie rugosa que con uno duro de superficie pulimentada. Ahora bien, la fusibilidad del aluminio hace que, debido a los pequeños arcos que se producen en algunos puntos de la línea, se originen rugosidades, y aun pequeñas perlas, que encarrilan el hilo y dan lugar a ranuras en el frotador; la consecuencia es la pequeña duración de los frotadores y, probablemente, un desgaste del hilo, debido al frotamiento, semejante y quizá mayor que el originado por los de cobre.

Por otra parte, parece demostrado que la causa principal de desgaste, con frotadores bien engrasa-

dos, es la captación de la corriente y procede, para disminuirlo, reducir todo lo posible la resistencia de contacto entre los frotadores y la línea. El empleo del cobre conduce probablemente al mejor contacto realizable entre hilo y frotador, y esta es sin duda la causa de que se haya impuesto para la captación de corrientes intensas. Esta es también la razón de que deba, a nuestro juicio, renunciarse a los frotadores de grafito, que aparte de otros inconvenientes, tiene el fundamental de ofrecer una resistencia de contacto elevada con el hilo de trabajo.

La superioridad del cobre parece manifiesta, porque como su desgaste está con el del aluminio en la misma relación aproximada que sus densidades respectivas, puede disminuirse en esta proporción la altura de los frotadores de cobre respecto a los de aluminio, con lo que se anula la ventaja más importante de éste, que es su pequeña densidad.

Respecto a la calidad de cobre que debe emplearse, creemos debe ser de dureza igual o algo inferior a la del hilo de trabajo, y la razón es la siguiente: es inevitable que accidentalmente, por defectos de la línea u otras causas, se produzcan arcos o golpes que ocasionan rugosidades en el frotador, a pesar del empleo de un metal poco fusible; estas rugosidades serían peligrosas para la vida de la línea si se emplearan frotadores más duros que el hilo de trabajo. Esta es otra razón que hace inadmisibile el empleo del grafito, como hemos podido comprobar prácticamente por la acumulación, en las cubiertas de los coches, de polvo de cobre, procedente de la línea y debido a roturas superficiales, accidentales, de frotadores de esta sustancia, cuya fragilidad es notoria.

Resumiendo: los frotadores deben ser, a nuestro juicio, de cobre, de dureza igual o algo inferior a la

de la línea, por ser menos fusibles que los de aluminio y aun que los de bronce y latón, de dureza no excesiva, peso comparable a los de aluminio y mínima resistencia de contacto.

Un detalle muy interesante para el buen funcionamiento de los frotadores es que estén bien engrasados. Esto se consigue mediante canales de engrase bien proporcionados, que se llenan de grasa consistente o valvolina y grafito.

En cuanto al soporte de los frotadores debe ser ligero, dentro de las condiciones de resistencia necesarias, y puede construirse de chapa embutida o de aleaciones de aluminio; hemos utilizado con éxito los soportes de chapa provistos de cuernos de la misma materia.

Presión sobre el hilo de trabajo

Hemos visto en la teoría de la línea aérea que la presión más conveniente es igual a la mitad del peso de un vano. En nuestro caso, el vano normal es de 18 metros; pero existen en las curvas vanos reducidos de 15 y 10 m; además, tenemos dos tipos de hilo. Por todas estas razones hay que adoptar un valor medio de la presión, que hemos fijado en 10 kg, y con el que se consigue un buen funcionamiento en los distintos vanos y con las dos clases de hilo de trabajo.

No tiene gran importancia el que la presión sea la teórica, puesto que hemos visto puede variar entre límites bastante amplios sin que las aceleraciones del frotador sean considerables, siempre que no haya gran diferencia entre las presiones de las tomas de corriente en el sentido ascendente y en el descendente.

En otro artículo describiremos las tomas de corriente y en un apéndice detallaremos los cálculos para determinación de la masa equivalente.

El puente sobre el río Tajo, en Alarza

El día 19 de diciembre se ha terminado la construcción de un nuevo puente sobre el río Tajo para



Fot. 1.ª Perspectiva general, según el proyecto

lino de Alarza, de cuyo proyecto e inspección de las obras he estado encargado.

Consta de un arco central de 70 m de luz y 17 de flecha, formado por dos bóvedas gemelas de hormigón armado, siendo, por consiguiente, en este sistema, el mayor construido hasta el día en España. Tiene, además, dos tramos laterales de hormigón armado de 20 m de luz cada uno, y los apoyos correspondientes.

El lecho, formado por grandes cantos graníticos, sobre los que discurre el río a torrencial velocidad debida a estrechamientos del cauce, ofrecía grandes dificultades para cimentar apoyos en él. En cambio, en las laderas de ambas márgenes, aparece la roca granítica con una solidez difícilmente superada.

Un detenido estudio del régimen del río, con datos de once años que han podido reunirse, nos ha servido, tanto para fijar el desagüe, altura, etc., como para determinar la marcha más conveniente para los trabajos. Resulta de ellos que en el mes de enero, si bien las crecidas extraordinarias no suelen presentarse, existen, sin embargo, avenidas importantes de 660 y 440 m³ por segundo con alturas de 7,35 y 5 m, respectivamente, sobre el nivel de estiaje; en el mes de febrero se presentan ya fuer-

la carretera de Guadalupe a Navalmoral de la Mata, en la provincia de Cáceres y sitio denominado Mo-