

media; han encontrado que próximo al pie la tensión de las secciones verticales puede llegar á 10 kilogramos por centímetro cuadrado, y los esfuerzos cortantes á 6 kilogramos.

En este orden de ideas, la repartición de la fuerza S y la de las fuerzas análogas, ejerciéndose entre las secciones horizontales, tiene una importancia evidente. Mas la acción horizontal es considerable cerca del punto B , menos las tensiones en las secciones verticales tendrán tendencia á manifestarse.

Las investigaciones de Wilson y Gore, efectuadas por medio de modelos constituidos con materias elásticas, parece indicar que la repartición de la fuerza S no es lineal y que el máximo está situado entre $\frac{1}{7}$ y $\frac{1}{8}$ de BC .

Independientemente de esta cuestión no resuelta, la evaluación de los esfuerzos que los materiales y el suelo del cimientto están en estado de soportar tiene una importancia particular; la resistencia de la mampostería al cizallamiento puede ser diferente bajo una carga considerable de la que tiene en una sección no cargada.

Se tiende á admitir que es más fuerte en el primer caso, aumentando la estabilidad de la construcción.

No parece suficiente buscar la resistencia á las acciones horizontales únicamente en la resistencia al rozamiento del suelo del cimientto; es necesario asegurarse también de la resistencia de los materiales al esfuerzo cortante. Convendría desde luego proseguir en los laboratorios, por medio de modelos apropiados, las investigaciones relativas á la repartición de los esfuerzos.

En defecto de un procedimiento más exacto y de un carácter práctico, parece deseable, con los métodos actuales, introducir la consideración de las secciones verticales y construir su curva de presión, así como la de las secciones horizontales; el examen de dos líneas de presión indica que un elemento paralelepípedo en el interior de un muro sufre esfuerzos simultáneos en dos direcciones, y desde este punto de vista será útil completar las nociones adquiridas sobre la resistencia de los materiales.

Si el punto de vista abordado en los trabajos de MM. Atcherbey y Pearson parece descubrir un nuevo camino á las investigaciones, puede admitirse con numerosos Ingenieros ingleses que es necesario mucho trabajo antes de aplicar prácticamente estos principios al cálculo de las presas de embalse. Entre tanto puede continuarse sin temor con los procedimientos de cálculo que han servido para construir numerosas obras, cuya buena conservación da toda seguridad. Los accidentes sobrevenidos hasta aquí más son debidos á otras causas que á defectos en los principios de los cálculos de resistencia.—O.

EL ARCO DE MERCURIO

PROPIEDADES Y APLICACIONES

(CONCLUSIÓN)

VI

El arco de mercurio con corriente alterna.

Una fuerza electromotriz alterna de pequeño valor no puede mantener un arco de mercurio tal como se ha definido. La chispa que se forma al separar los electrodos se extingue por grande que sea la intensidad de la corriente, fenómeno que se explica recordando las propiedades del catodo. Para que el arco persista, es indispensable que el polo negativo produzca sin interrupción materia conductora, pues de lo contrario, el arco se extingue, á no ser que por algún otro medio se haga de nuevo activa la super-

ficie del catodo. Ahora bien; con un voltaje alterno, el polo negativo oscila de uno á otro electrodo, y, por lo tanto, se suspende la emisión de iones negativos, extinguiéndose el arco.

Si la fuerza electromotriz aplicada tiene un valor suficientemente alto para hacer activo el catodo á cada alternancia, el fenómeno es diferente según se examinará más adelante; por de pronto, se estudiará el caso de voltajes moderados.

Un procedimiento para que persista un arco de mercurio con corriente alterna consiste en mantener activo uno de los electrodos, haciendo que sea el polo negativo de un generador de corriente continua. La disposición es análoga á la representada por la figura 1.^a, con la única diferencia de que g' es un alternador.

Entre C y B se establece un arco de mercurio con corriente continua. Como el catodo se conserva activo constantemente, siempre que sea el polo negativo de la corriente alterna, éste pasará en dirección de BA y habrá arco; la corriente de dirección contraria no pasará y el arco principal se extinguirá. Resulta, por lo tanto, que en el circuito BA existirá una corriente ondulatoria, pero de una sola dirección, hecho muy interesante y que da el medio de transformar una corriente alterna en otra de aquellas condiciones.

Con dos generadores auxiliares de corriente continua, á cuyos polos negativos se enlaza cada uno de los conductores de la corriente alterna, se puede hacer pasar ésta entre los dos catodos. La discusión de este caso, á pesar de su interés, no se trata en este artículo, porque le haría demasiado largo.

Con la primera disposición, explicada únicamente, se aprovecha una de las mitades de la onda de corriente; para utilizar las dos se puede emplear la combinación representada en la figura 6.^a El tubo posee dos anodos enlazados á las terminales del secundario del transformador, á cuyo punto medio se une el ca-

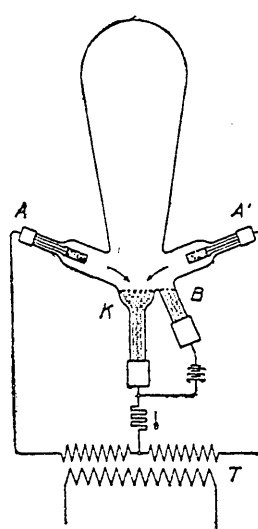


Fig. 6.^a

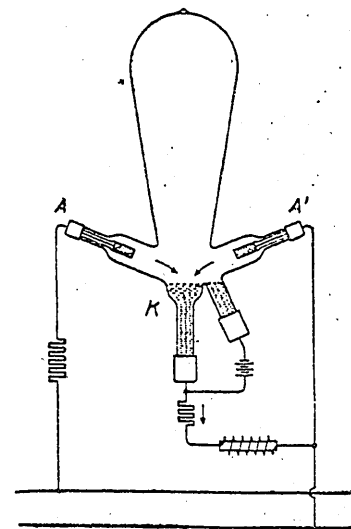


Fig. 7.^a

todo, que es excitado por un generador auxiliar de corriente continua. Para cada media onda de la fuerza electromotriz, una de las mitades del secundario del transformador envía una corriente, cuyo polo negativo es siempre k ; en el conductor que enlaza á éste con el transformador se establece una corriente constituida por una serie de pulsaciones todas de la misma dirección, que pasa por cero cada medio período de la corriente alterna. El generador auxiliar no tiene más objeto que conservar la actividad del catodo K durante el tiempo que la corriente alterna cambia de signo.

Se puede sustituir el generador auxiliar con reactancias apropiadas que acumulan energía durante el período creciente de la corriente y la restituyen durante el decreciente. La figura 7.^a representa un rectificador fundado en este principio que aprovecha media onda.

Los electrodos A y A' se enlazan con los polos de un alterna-

dor, colocándose entre el segundo y K una reactancia. Si con una corriente continua auxiliar ó por el contacto de K con A se activa el primero, ocurre lo siguiente: la media onda de corriente cuyo anodo es A pasa á K , forma el casco y continúa por la reactancia; al disminuir la corriente, dicha reactancia envía otra á través de $A'K$ principalmente, la cual, si dura tiempo suficiente, conserva la actividad del catodo durante la media onda de la corriente alterna cuyo polo negativo es A .

Se pueden aprovechar las dos medias ondas de cada período de la corriente alterna con la disposición de la figura 8.^a, en la

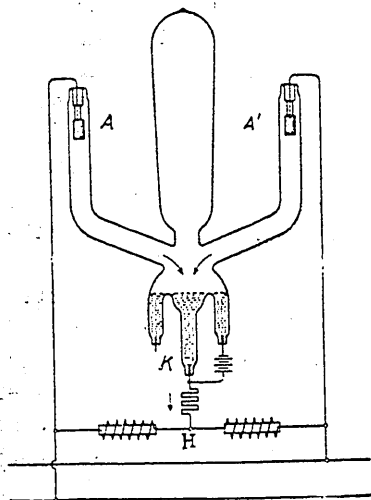


Fig. 8.^a

cual se puede observar que el cátodo K es común á las dos medias ondas y á los carretes de reactancia. En el conductor que enlaza K con el punto H se obtiene una corriente ondulatoria de dirección constante que puede servir para cargar una batería de acumuladores.

La disposición que se acaba de describir se puede adaptar á la representada en la figura 6.^a, colocando un carrete de gran reactancia entre el punto medio del secundario del transformador y el cátodo K .

VII

Descarga entre anodos.

Los dos electrodos A y A' del rectificador (fig. 8.^a) que se ha descrito últimamente, ánodos de las corrientes rectificadas, se encuentran rodeados por una atmósfera de gran conductibilidad y sorprende á primera vista que no salte un arco entre ellos. Este hecho tiene su explicación en la ausencia de un centro catódico en uno y otro ánodo; pero si por una razón cualquiera este centro existiese en uno de los ánodos, inmediatamente se formaría un arco entre ambos; sin embargo, aunque no le haya, puede asegurarse que siempre existe una pequeña corriente entre aquéllos, puesto que pueden medirse intensidades de la magnitud de un milamperio entre dos electrodos exploradores colocados en el arco de mercurio, á los cuales se aplica una diferencia de potencial moderada.

Las condiciones en que se produce un centro catódico sobre una superficie cargada negativamente son de gran interés teórico; los siguientes experimentos se refieren á esta cuestión.

Considérese el tubo correspondiente á la figura 1.^a y sustitúyase el ánodo A de grafito por otro de mercurio. Si B es el cátodo, al saltar el arco BC inmediatamente se establece el AB , suponiendo que el vacío se ha llevado al grado suficiente; pero si B es ánodo, el arco AB no se inicia por regla general. Sin embargo, cuando el vapor ionizado que se desprende del arco CB llena el espacio comprendido entre B y A , una pequeña corriente secundaria tiene lugar entre estos dos electrodos, la cual continúa

indefinidamente si A está constituido por grafito ó hierro, pero si lo está por mercurio, puede saltar un arco entre A y B cuyo cátodo es A . Á pesar de la presencia de vapor conductor en alto grado correspondiente al arco CB , la corriente secundaria únicamente se establece entre A y B . Es menos difícil de realizar el experimento cuando A se coloca entre B y C .

Los experimentos anteriores realizados con corriente continua ponen de manifiesto la existencia de centros catódicos sobre la superficie de los cuerpos cargados negativamente. Los resultados que se obtienen del estudio de esta cuestión cuya importancia práctica es evidente pueden resumirse en la forma siguiente:

a) La facilidad con que un centro catódico se forma sobre la superficie de un electrodo cargado negativamente depende del material con que este electrodo está constituido, muy principalmente de su punto de ebullición, siendo mayor con el mercurio que con electrodos sólidos, á no ser que se tomen precauciones especiales.

La influencia del material de los electrodos en la producción de centros catódicos se demuestra muy claramente en la rectificación de corrientes á 30 ó 40.000 voltios y aun á 10.000. Es muy frecuente enlazar los ánodos de grafito conductores de platino metidos en tubos de vidrio para aislar unas vueltas de otras; en este caso, la experiencia enseña que con aquellos voltajes el centro catódico se forma con más facilidad sobre el cristal que rodea el hilo de platino que sobre el grafito, presentándose sobre aquél una mancha brillante que le funde y le volatiliza, anulando los gases desprendidos el vacío del tubo, el cual, muchas veces se rompe. El hecho de que sobre el cristal y materiales análogos se forme la mancha catódica mucho más fácilmente que sobre el hierro ó el grafito tiene por causa probable los vapores de sodio y de metales semetantes que el cristal puede desprender.

b) *Influencia sobre el potencial.*—Parece natural que la formación de un centro catódico sea tanto más rápida cuanto mayor sea el voltaje aplicado. En efecto, uno de los métodos antiguos para establecer un arco de mercurio consistía en emplear una gran inductancia que produciendo un potencial elevado daba lugar á la formación de un centro catódico.

Cuando el arco de mercurio se emplea como rectificador de corrientes alternas de voltaje muy alto hay peligro de que salte un arco entre los ánodos, tanto más cuanto mayor es la diferencia de potencial. Si los ánodos son de grafito y se toman ciertas precauciones, por mucho que se eleve el voltaje no se logra establecer el arco derivado entre aquéllos.

La formación de un centro catódico sobre la superficie de un electrodo de mercurio cargado negativamente bajo la influencia de potenciales muy altos puede demostrarse con los siguientes experimentos:

1) Sea AB un tubo (fig. 2.^a con las conexiones permutadas), en el cual el electrodo de mercurio B se enlaza con el polo negativo de un generador de corriente continua, y el de grafito A con el positivo del mismo generador; si la distancia entre A y B no es muy grande, 20 ó 25 centímetros, basta una sacudida del tubo para que el arco AB se establezca. Es evidente que la única acción posible de tal sacudida tiene que ser la producción de una carga estática de gran potencial sobre la superficie del mercurio.

El experimento siguiente parece demostrar que un factor importante en aquella acción es la intensidad del campo eléctrico cerca del cátodo.

2) Considérese un tubo AB con dos electrodos de mercurio, de los cuales uno tiene una superficie muy pequeña y el otro muy grande; si se enlazan con los terminales del secundario de un transformador de gran voltaje y la corriente es pequeña, se pueden observar sobre el primer electrodo únicamente puntos brillantes de contorno muy definido, hecho que se explica por la diferente forma que tienen las superficies del mercurio en uno y otro electrodo; en efecto, el radio de curvatura del que tiene la superficie más pequeña es menor que el correspondiente á la del

otro, razón por la cual la intensidad del campo eléctrico en el primero es mayor que en el segundo, y, por lo tanto, las partículas negativas son impelidas con mayor fuerza en el espacio, formándose el centro catódico más pronto. Si en el circuito del tubo se coloca un amperímetro de corriente continua, su desviación demuestra la existencia de una corriente rectificada; su dirección no es necesariamente aquella para la cual el electrodo más pequeño es cátodo, sino precisamente la contraria, cuando su intensidad es pequeña, fenómeno que demuestra que la corriente negativa que entra en el tubo por el electrodo de mayor superficie en forma de descarga *homogénea*, uniformemente distribuida sobre aquella, es superior a la corriente negativa que entra por los puntos brillantes del segundo electrodo. A medida que la intensidad de la corriente crece, las dos corrientes opuestas tienden a la igualdad, sobrepasando la segunda a la primera cuando la superficie de aquellos puntos es suficientemente grande. Si sobre el electrodo de mayor superficie se forman manchas, éstas aparecen con preferencia cerca del cristal, donde el radio de curvatura de aquella es mínimo, y donde, por lo tanto, es mayor la intensidad del campo eléctrico.

c) *Influencia de la posición de los anodos con relación al cátodo.*—La mayor ó menor facilidad con que se forma un centro catódico sobre los anodos de un rectificador para alto voltaje depende de la posición de éstos con relación al cátodo, fenómeno que sorprende a primera vista y cuya explicación no se ha dado con toda claridad hasta hoy día. Si los anodos se colocan en la vertical del cátodo el arco entre ellos salta más pronto que si se colocan lateralmente, siendo el peligro de que esto suceda tanto menor cuanto mayor sea el ángulo que forme con la vertical del cátodo la línea que une a éste con el anodo. Si uno de los anodos se sitúa en aquella vertical sobre el cátodo y el otro en un plano inferior a éste, pero fuera de dicha vertical, y el arco secundario salta, constantemente tiene su punto catódico en el primer anodo. Parece como si el vapor ionizado que se desprende de la superficie del cátodo en dirección vertical ejerciese algún efecto particular sobre el anodo, facilitando la producción de un centro catódico de ionización.

VIII

Aplicaciones del arco de mercurio.

1.—AL ALUMBRADO

El rendimiento luminoso de los arcos de mercurio es muy grande; medido con un fotómetro que permita comparar focos de luz de diferente color, se encuentra que oscila entre 0,25 y 1 vatio por bujía, correspondiendo sólo al arco el consumo de energía; en circunstancias corrientes un 20 por 100 de aquel consumo se pierde en resistencias (que en la distribución en serie no son necesarias), y parte de la luz emitida por el arco es absorbida por el globo en que de ordinario se encierra. Los efectos fisiológicos de la luz sobre la vista, así como su distribución, son de naturaleza diferente que los correspondientes a otros focos de luz artificial, por cuya razón los números dados tienen menos valor práctico que los experimentos hechos actualmente con el luminómetro, aparato para determinar la iluminación de los objetos situados a cierta distancia del foco luminoso, experimentos que demuestran el valor del arco de mercurio con relación a este particular.

La duración de las lámparas de arco de mercurio es muy grande; en algunas ha pasado de tres mil horas. Con el uso, el cristal del tubo se ennegrece a consecuencia de alguna alteración química, reduciéndose su duración en un 20 por 100. Estas lámparas requieren poca atención, puesto que no hay necesidad de renovar los electrodos.

Otra de las ventajas que poseen consiste en que como es posible construir unidades pequeñas, con 160 vatios de consumo,

la distribución de la luz puede hacerse con mucha uniformidad, mayor que con los arcos ordinarios de carbón.

El principal inconveniente del arco de mercurio para el alumbrado le constituye la falta casi absoluta de radiaciones rojas, a pesar del cual se emplea bastante, y es probable que de día en día se aplique más y más en todos aquellos sitios en los que no tenga importancia la colocación de la luz.

La lámpara de arco de mercurio funciona con corriente continua, pero puede construirse también para alternas en forma análoga al rectificador descrito, con disposición para el establecimiento análogo a la del arco de corriente continua; sin embargo, la construcción y conexiones son más complicadas que con esta última.

Para mejorar la calidad de la luz se emplean los siguientes medios:

a) La General Electric Company (E. U.) coloca varias lámparas incandescentes ordinarias en serie con el arco, las cuales funcionan a su régimen normal y se encierran con el arco en un solo globo, con objeto de mezclar todas las radiaciones y emitir una luz de tinte uniforme. Esta disposición tiene menor rendimiento que el arco de mercurio y produce unidades mayores.

b) Se ha visto que añadiendo al mercurio algunos metales, como potasio, sodio, litio, calcio, etc., se modificaba el aspecto del espectro del arco. La aplicación práctica de este hecho a la mejora del color de la luz emitida por el arco de mercurio lleva consigo muchos inconvenientes, entre otros, el ataque químico del cristal por aquellos metales, la disminución del rendimiento, etc.

c) El empleo de sustancias fluorescentes que tienen la propiedad de transformar las radiaciones violetas y verdes en otras más próximas a las rojas, no ha dado resultado práctico, porque ninguna de aquellas posee esta propiedad en grado suficiente; además, tal transformación es poco económica.

d) El espectro de la luz emitida por la descarga eléctrica a través de gases ó vapores depende principalmente de la naturaleza de aquella; fundándose en este hecho se han ideado disposiciones con objeto de mejorar el matiz de la luz del arco de mercurio, a una de las cuales se refiere la figura 9.^a En ésta, *T* re-

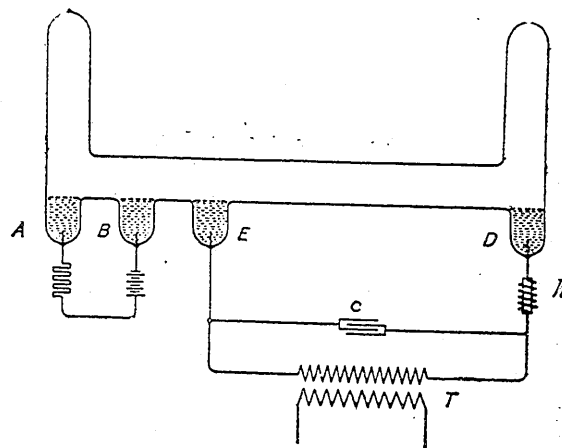


Fig. 9.^a

presenta un transformador, *C* un condensador, *h* una pequeña inductancia y *AB* un arco de corriente continua que produce el vapor ionizado que llena el tubo entre *E* y *B*. En condiciones determinadas, la descarga del condensador entre estos electrodos tiene un espectro rico en radiaciones rojas, resultando un arco con luz blanca y brillante.

2.—A LA RECTIFICACIÓN DE CORRIENTES ALTERNAS

a) *Rectificación de potencial constante.*—El arco de mercurio constituye la mejor solución del problema de transformar las corrientes alternas en continuas siempre que la energía a trans-

formar no sea demasiado grande. Como esta última depende del voltaje y de la corriente, se examinarán separadamente cada uno de estos factores.

En teoría no tiene límite la corriente que puede transformarse con un rectificador de mercurio; pero en la práctica está limitada por la dificultad que existe para hacer pasar grandes corrientes por un tubo en el que se ha hecho un vacío bastante perfecto, así como las que nacen del gran calor que se desarrolla en el arco; estas dificultades podrían remediarse sustituyendo el cristal por otro material más conveniente.

El voltaje que admite el rectificador de mercurio es elevadísimo, circunstancia que le hace muy superior al electrolítico.

Su rendimiento crece con el voltaje, puesto que el consumido por el arco es una cantidad constante, unos 17 voltios en los rectificadores ordinarios de potencial constante. A voltajes de 100 ó 200 voltios el rendimiento del rectificador de mercurio es mucho mayor que el del electrolítico. Su factor de potencia, con reactancias apropiadas, pasa de 90 por 100.

El rendimiento elevado y la sencillez de este rectificador contribuyen á que de día en día se extienda más su empleo, que consiste principalmente en la carga de acumuladores para automóviles y teléfonos.

b) *Rectificador de corriente constante.*—La diferencia esencial que existe entre este rectificador y el que se acaba de describir se reduce á la sustitución del transformador de potencial constante por otro de corriente constante. La aplicación más importante de este rectificador se ha hecho á las lámparas Magnetita de corriente continua; se han establecido varias instalaciones de 25 á 75 arcos, consumiendo cada una de 80 á 100 voltios; el voltaje de la línea alterna oscilaba entre 15.000 y 20.000 voltios. La descripción detallada de este sistema de alumbrado exige mucho espacio, razón por la cual no se entra en ella.

c) *Rectificador de alta frecuencia.*—Con el rectificador de mercurio es posible rectificar corrientes alternas de la frecuencia que tiene la descarga de un condensador; es decir, de 10^6 ó de 10^{10} oscilaciones por segundo. Hasta ahora no se pudo encontrar límite, pero prácticamente es imposible probar que la rectificación es completa. Esta propiedad del arco de mercurio puede ser útil en la telegrafía sin hilos para rectificar las oscilaciones recibidas en la antena.

En la figura 10 se representa una estación receptora con rec-

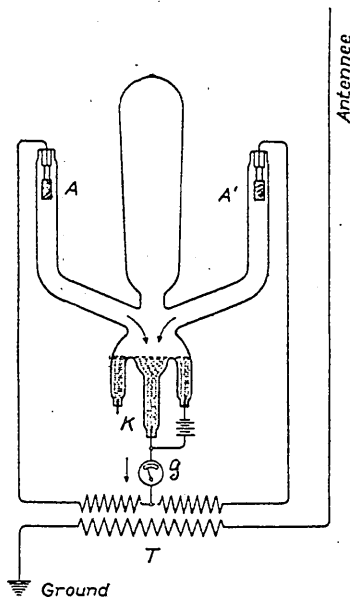


Fig. 10.*

tificador de mercurio con las conexiones necesarias para utilizar las dos medias ondas de la corriente; *g* es un galvanómetro, una batería de acumuladores de unos 20 voltios conserva la actividad del catodo. Es probable que esta disposición no sea tan

sensible como un receptor telefónico, pero permite registrar telegramas.

Los experimentos descritos al tratar del establecimiento del arco de mercurio por medio de un arco auxiliar se explican admitiendo que rayos semejantes á los catódicos de un tubo de Crookes son emitidos por el catodo y se propagan en el espacio con una velocidad que depende de la cantidad de gases ó de vapor de mercurio presentes. Si el vacío del tubo es muy perfecto, los rayos se mueven con gran velocidad y cuando llegan al anodo se establece un puente conductor entre éste y el catodo. Si el vacío es defectuoso ó hay gran cantidad de vapor de mercurio, la velocidad de los rayos catódicos se reduce considerablemente, y entonces, tanto por su choque con las moléculas inertes como por la recombinación de los iones, se establece un estado de cosas tal, que el establecimiento del arco es muy lento y algunas veces hasta imposible.

El hecho de que la forma del tubo tenga gran influencia en el establecimiento del arco constituye un argumento en favor de la hipótesis de que los rayos emitidos por el catodo son análogos á los catódicos de los tubos de Crookes. El arco se inicia más pronto cuando no hay obstáculos entre el anodo y el catodo; si, por el contrario, los rayos tienen que chocar varias veces con las paredes del tubo antes de llegar al primero, el arco se establece con dificultad.

La hipótesis admitida justifica que con tubos estrechos sea difícil hacer saltar el arco de mercurio por medio de otro auxiliar; en tubos de 3 mm es imposible.

Si entre los electrodos *C* y *B* (fig. 1.^a) se establece el arco y se aplica una diferencia de potencial á *B* y *A*, entre éstos circula una corriente á pesar de que la fuerza electromotriz aplicada sea inferior al voltaje de polarización del arco. Dicha corriente tiene las siguientes propiedades:

1. La corriente en la dirección *AB* es mucho mayor que en la *BA*.
2. La corriente, según *BA*, tiene un límite superior que se alcanza con poco voltaje; la de dirección contraria crece rápidamente en un principio con la fuerza electromotriz, después lentamente hasta que el voltaje es igual al de polarización, en cuyo momento el arco experimenta una transformación repentina.
3. La corriente, según *AB*, no depende exclusivamente de la fuerza electromotriz aplicada y de la corriente en *CB*, sino también del estado anterior del espacio *AB*; tiene distinto valor, según que el voltaje sea creciente ó decreciente.—Ω.

LOS CARRILES DE ACERO, SU COMPOSICIÓN Y SU PERFIL ⁽¹⁾

Hace veinte ó treinta años los carriles de acero no daban lugar á las dificultades que se experimentan hoy día con los productos actuales, y que son, sobre todo, el resultado del enorme incremento en la producción de los laminadores y del aumento de peso en los perfiles del carril. La primera causa ha conducido á los fabricantes á no poner tanto cuidado como antes en la preparación de los lingotes y á mantener una temperatura mucho más elevada en los últimos pases por el laminado, lo que produce una textura de granos gruesos. En muchos casos, la composición actual es mejor que la que se encontraba antiguamente y que hoy día se consideraría como peligrosa. No obstante, es un hecho indudable que los carriles antiguos prestaban excelentes servicios, lo que debe atribuirse á un trabajo más acabado del acero y á su terminación á baja temperatura.

El aumento de peso de los perfiles ha trastornado por completo las proporciones que existían entre las diferentes partes

(1) Resumen de una Memoria presentada al *New York Railroad Club* por Roberto Job.