

LABORATORIO DE INVESTIGACIONES FERROVIARIAS

NUEVO TIPO DE DETECTOR DE PATINADO
PARA LOCOMOTORAS ELECTRICAS

Por ANTONIO ANGULO, Ingeniero de Caminos.

Da cuenta el autor de los interesantes ensayos y trabajos llevados a cabo por el Laboratorio de Investigaciones Ferroviarias sobre el problema del patinado en las locomotoras eléctricas y el detector de fundamento puramente eléctrico construido por dicho Laboratorio, y ensayado con buen resultado en las locomotoras 7400 para la electrificación Madrid-Avila-Segovia.

Su necesidad.

El detector de patinado es un accesorio que se hace más necesario cada día, como consecuencia del aumento de potencia específica de las locomotoras eléctricas.

No es preciso destacar que la evolución de las locomotoras eléctricas se realiza aumentando la potencia en mayor proporción que el peso por eje, lo que trae como consecuencia una mayor facilidad para el patinado.

Dentro de una misma locomotora hay ejes que tienen mayor tendencia al patinado, reduciéndose tales tendencias por medio de diversos dispositivos mecánicos, que dependen, en su constitución, de las patentes de cada firma constructora.

Concretamente, en el arranque, cuando la locomotora efectúa un poderoso esfuerzo de tracción, los ejes delanteros tienden a descargarse, siendo de temer en ellos el patinado. Por el contrario, cuando la locomotora contiene al tren con sus frenos, bajando una pendiente, son los ejes traseros los que se descargan.

Pueden producirse dos clases de patinado, según que la velocidad de las ruedas sea superior a la del tren, o inferior. El primer tipo se produce en los arranques o en las rampas, mientras que el segundo se presenta cuando se baja una pendiente o se pretende frenar.

En el primer caso se produce un embalamiento del eje correspondiente y mecanismo motriz, mientras que en el segundo, el eje queda bloqueado por los frenos, arrastrándose sobre el carril.

Fácilmente se comprende que es más perjudicial la primer clase de patinado con embalamiento que la segunda, y que es más de temer en las locomotoras eléctricas con ejes independientes que en las de vapor, con órganos en movimiento alternativo y varios ejes acoplados mecánicamente. Este patinado, producido por el embalamiento de un eje, ocasiona esfuerzos muy grandes en los motores eléctricos de tracción,

debidos a la fuerza centrífuga, agravados por la constitución heterogénea del colector y del rotor en general. Por ello, los embalamientos suelen ocasionar verdaderas "explosiones" en los motores de tracción.

Si tenemos en cuenta que, en los motores de tracción, hay partes que llevan una velocidad del orden del doble de la periférica de las ruedas, si un patinado hace que un eje se embale a 150 Km./hora, habrá partes del motor correspondiente que alcancen los 300 Km./hora, y, por lo tanto, si se produce una rotura, tales partes se disparan como verdaderos proyectiles.

Además de este efecto, se produce un desgaste anormal del carril. Es frecuente ver en las estaciones las señales de algún eje que ha estado girando, al arrancar un tren, sin que se moviese la locomotora. Es también conocida la costumbre de los maquinistas de locomotoras de vapor, de sacar, en los túneles largos y en rampa, la escoba que llevan (para limpiar el piso de la locomotora) hasta que tocan en el paramento del túnel, con el fin de comprobar si la locomotora marcha o está detenida, pues a veces ocurre que se estabiliza el patinado con el tren parado y la locomotora en funcionamiento, y el maquinista no puede apreciar con la vista si se mueve o no el tren, por estar en un ambiente de humo y con los paramentos del túnel ennegrecidos.

Finalmente, el patinado de un eje, que queda bloqueado por efecto de los frenos, se produce cuando se desciende una pendiente y el maquinista contiene el tren con los frenos de la locomotora. El mayor inconveniente de esta forma de patinado es que en las llantas del "eje frenado" (en el argot ferroviario, cuando un eje bloqueado arastra sobre los carriles se dice que va "a zorro") se producen planos, lo que obliga a tornear las llantas posteriormente.

En el caso de locomotoras eléctricas, con ejes independientes, hay mayor peligro que en las de vapor a que se produzca el patinado, con varios ejes acoplados, pero, además, hay otra circunstancia que agrava

va este peligro, y ésta es la inestabilidad propia del motor excitado en serie, que es el tipo más empleado en tracción, que se agrava cuando a su vez se acoplan en serie los diversos motores de una locomotora.

Funcionamiento de un motor que patina cuando está conectado en serie con otros (1).

Nos referiremos siempre al motor excitado en serie, por ser el más utilizado en tracción.

En la figura 1.^a se ha dibujado, con línea llena, la curva que liga la velocidad con el esfuerzo de tracción. En la misma escala de ordenadas se ha indicado otra escala, que es de intensidades, ya que de un modo aproximado, en cada motor, el esfuerzo de tracción (o par motor) está definido por la intensidad.

Cuando, por una causa fortuita, patina un eje (grasa o humedad en el carril, sobretensión brusca en la línea, etc.), su velocidad aumenta, y lo haría de un modo indefinido si no hubiese un esfuerzo que lo frena, que es el rozamiento de la rueda sobre el carril.

También es un hecho que el coeficiente de roza-

miento disminuye a medida que aumenta la velocidad, de modo que si tomamos, para diferentes velocidades, los productos de la carga por eje, por el coeficiente de rozamiento correspondiente a cada velocidad, nos encontramos con la curva de trazos de la figura 1.^a.

Esta curva marcada con trazos es muy difícil de conocer, pues depende de las circunstancias de cada caso. De todos modos, llegará a existir un punto, definido por cierta velocidad, para el cual la fuerza de tracción efectuada por el motor es igual a la que resulta de aplicar el coeficiente de rozamiento al peso del eje. En estas condiciones, el patinado se estabilizaría en el punto A.

Pues bien: cuando se trata de varios motores acoplados en serie, la velocidad a que se estabiliza el patinado es mucho más elevada.

Para demostrar esto, recordemos que, en un motor excitado en serie, la tensión *u* de alimentación es la suma de la pérdida óhmica y de la fuerza contraelectromotriz engendrada en el motor. Esta fuerza contraelectromotriz es proporcional a la velocidad, *v*, y al campo magnético que, por depender de la intensidad *I*, podemos expresar como una función de dicha intensidad. Es decir:

$$u = r \cdot I + v \cdot f(I);$$

de cuya expresión se obtiene la velocidad

$$v = \frac{u - r \cdot I}{f(I)};$$

cuya variación está representada por la curva de línea seguida de la figura 1.^a.

Cuando son varios los motores acoplados en serie

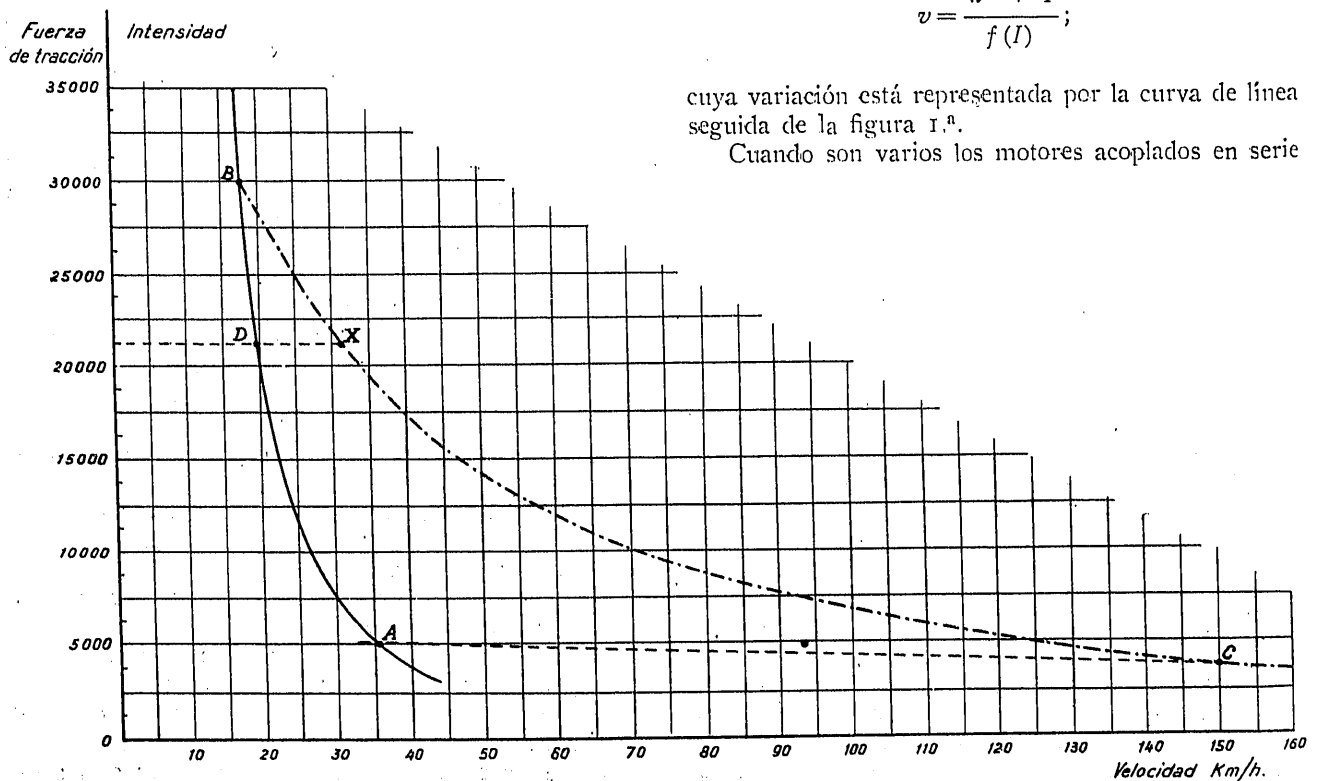


Figura 1.^a

(1) Ferrocarriles y Tranvías, octubre 1945.

(n motores), su funcionamiento normal es idéntico al de un motor solo, puesto que tanto la tensión de alimentación como las pérdidas óhmicas y las fuerzas contraelectromotrices son n veces las producidas en un solo motor; pero cuando uno de ellos patina, su funcionamiento cambia de un modo notable.

Supongamos que el patinado empieza a producirse en el punto B , continuando $n - 1$ motores a la velocidad V_B , que es la del tren, mientras el que patina toma la velocidad V_x .

La tensión de alimentación queda inalterable:

$$U = n \cdot u.$$

La fuerza contraelectromotriz de los $n - 1$ motores que no patinan tendrá por expresión:

$$(n - 1) \cdot V_B \cdot f(I),$$

y la del motor que patina:

$$V_x \cdot f(I).$$

Las pérdidas óhmicas de tensión serán n veces la de un solo motor, o sea:

$$n \cdot r \cdot I.$$

Es decir, que la condición de equilibrio eléctrico es:

$$U = (n - 1) V_B \cdot f(I) + V_x \cdot f(I) + n \cdot r \cdot I;$$

de la que se deduce:

$$V_x = n \cdot \frac{u - r \cdot I}{f(I)} - (n - 1) V_B;$$

Con cuya expresión podemos dibujar la curva BC de trazo y punto que representa el funcionamiento de un motor que patina. En efecto: el primer término del segundo miembro de la igualdad anterior vale:

$$n \cdot \frac{u - r \cdot I}{f(I)} = V_D \cdot n;$$

puesto que es (multiplicado por n) el mismo caso de un solo motor.

Sustituyendo, resulta:

$$V_x = n V_D - (n - 1) V_B;$$

en cuya fórmula, n y V_B son datos (número de motores acoplados en serie y velocidad a que comenzó el patinado), mientras que V_D es la variable independiente.

Aplicando la fórmula a diferentes puntos, dibujamos la curva BXC , que caracteriza el funcionamiento de un motor que patina, mientras que los demás, conectados en serie, continúan marchando sin variar su velocidad.

La velocidad de equilibrio del patinado es la V_c notablemente superior a la V_A indicada anteriormente.

Los datos de la figura 1.^a corresponden a la locomotora serie 7400 de la RENFE, descrita en los números de febrero y marzo de 1946 de la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS.

Fundamento del detector construido.

Las razones anteriores originaron un estado de inquietud, cuya consecuencia es la necesidad de establecer un detector de patinado, tanto de grande como de pequeña velocidad, que fué sometido al Laboratorio de Investigaciones Ferroviarias, y después construido y probado por este Laboratorio.

Esta inquietud fué igualmente sentida por las firmas "Material y Construcciones, S. A." y "Société Anonyme des Ateliers de Sécheron", constructoras de las locomotoras citadas, quienes han estudiado, puesto a punto e instalado, un tipo de detector de patinado de gran velocidad, de fundamento puramente eléctrico, en las locomotoras serie 7400, que han construido para la electrificación Madrid-Avila-Segovia.

El aparato construido por el Laboratorio de Investigaciones Ferroviarias consta de un circuito (figura 2.^a), alimentado por la batería de acumuladores (de 60 voltios) de la locomotora, que tiene en serie una lámpara de señalización, y conectado mediante sendas escobillas a dos anillos instalados en un eje de la locomotora.

Normalmente, tales anillos están aislados entre sí,

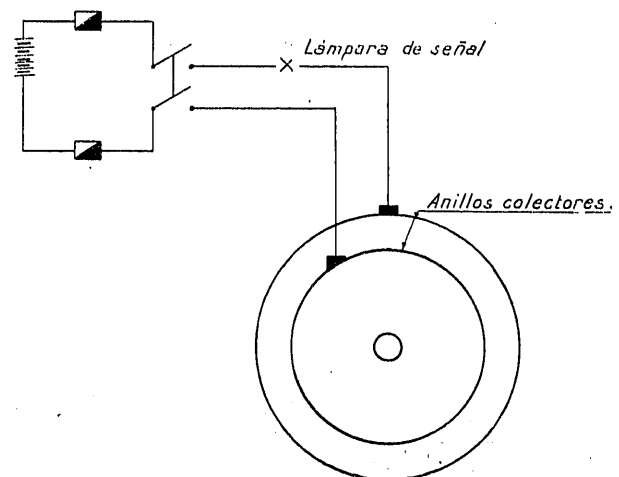


Figura 2.^a

pero se unen eléctricamente cuando funciona el detector.

El fundamento del detector es la apertura o cierre del contacto entre ambos anillos, mediante dispositivos accionados por fuerza centrífuga.

aislado de todo lo anterior y conectado al otro anillo.

Cuando la fuerza centrífuga, originada por la velocidad del eje, hace que la masa *B* venza la acción del muelle *A*, se unen eléctricamente los dos anillos colectores y se enciende la lámpara señal.

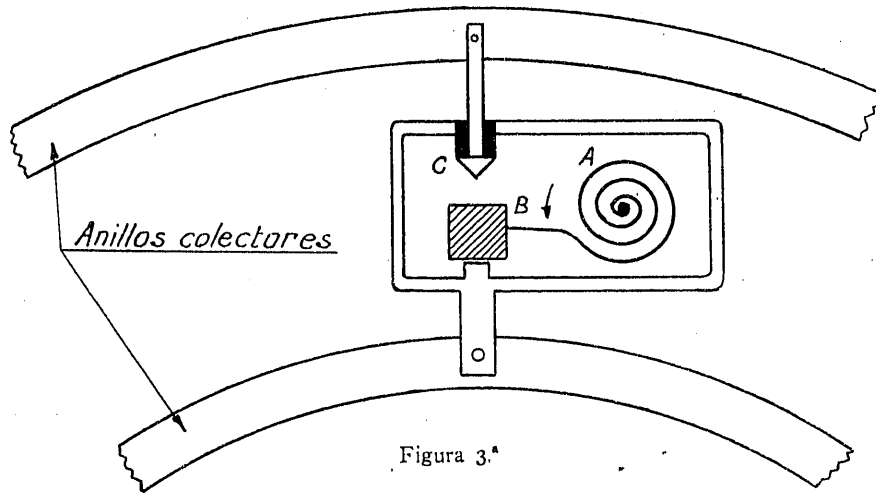


Figura 3.ª

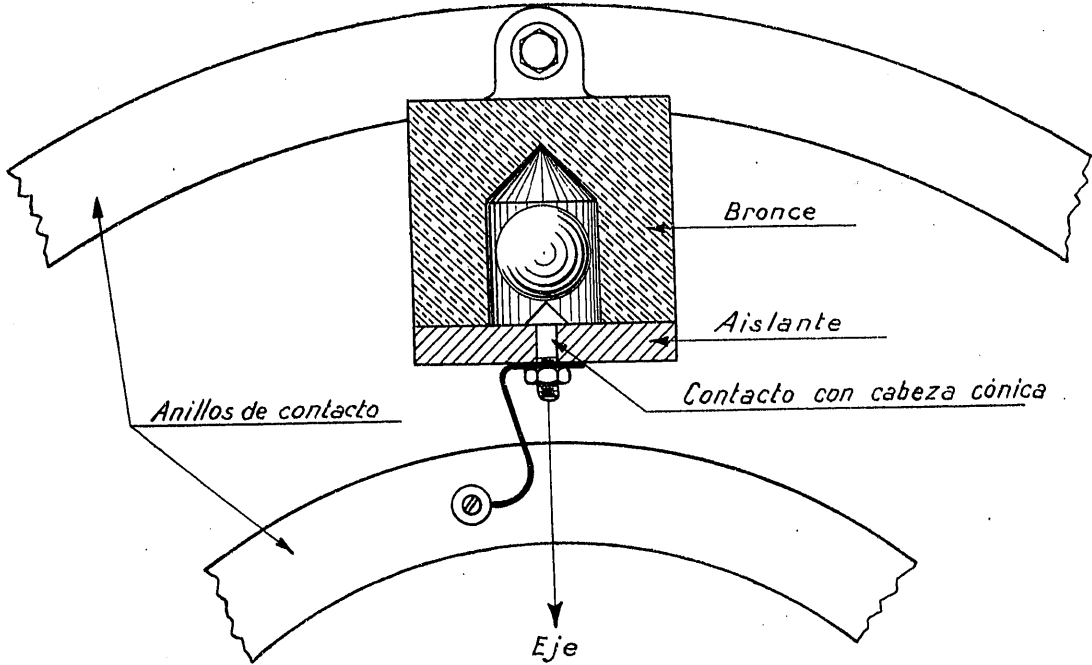


Figura 4.ª

El dispositivo para gran velocidad está indicado en la figura 3.ª, y consiste en una caja metálica, unida eléctricamente a un anillo, en la cual un muelle, *A*, regulable, oprime a la masa *B* en dirección centrípeta.

Muy próximo a esta masa está un contacto, *C*,

El hecho de que sea regulable el muelle *A*, mediante giro de su eje, el cual se puede fijar en cualquier posición, permite tarar el detector de modo que funcione a la velocidad que se desee.

Pudiera parecer que la aceleración de la gravedad

perturbaría el funcionamiento de este detector, ya que, según la posición instantánea del mismo, la aceleración de la gravedad tendrá el mismo sentido que la fuerza del muelle, o sentido contrario. Debemos destacar que esta aceleración de la gravedad es notablemente inferior que la que sufre la masa B por efecto del giro del eje, y, por lo tanto, su influencia es escasa.

Concretamente, en el detector construído, la masa B está colocada a 0,56 m. del eje geométrico, y la rueda tiene un radio de 0,78 m. La velocidad a la que se dispuso fuese accionada la señal era la de 70 kilómetros-hora. Es decir, la velocidad lineal de la masa B es, para estas condiciones de funcionamiento, la siguiente:

$$\frac{0,56}{0,78} \cdot \frac{70\,000 \text{ m.}}{3\,600 \text{ seg.}} = 13,9 \text{ m./seg.,}$$

y la aceleración centrífuga tiene por expresión:

$$\frac{V^2}{r} = \frac{13,9^2}{0,56} = 347 \text{ m./seg.}^2,$$

muy superior a la de 9,8 m./seg.² de la gravedad.

A la velocidad de 69 Km./h., ha de comenzar a dar destellos la lámpara, coincidiendo con los instantes en que el detector esté en la parte inferior por coadyuvar la gravedad a la acción del muelle A, y a 71 Km./h., ha de lucir de un modo permanente, aun en los instantes en que la acción de la gravedad sea opuesta a la del muelle.

El detector de pequeña velocidad consiste en un elemento formado como se indica en la figura 4.^a, por un dado de bronce, con un orificio y en su interior una bola metálica. Tapando el orificio existe una tapa aislante, con un contacto metálico en el centro. Este contacto tiene forma cónica, de modo que, cuando la bola descansa sobre él, obligadamente se ha de apoyar sobre las paredes del orificio. Tanto el dado como el contacto aislado, están conectados a cada anillo colector.

Cuando la rueda gira a velocidad muy pequeña, para la cual sea despreciable la fuerza centrífuga, la lámpara de señal ha de lucir cuando el elemento o dado de bronce esté sobre el eje geométrico de la rueda, ya que la bola, por gravedad, se ha de apoyar sobre el extremo del contacto, que como es una punta, ocasiona en la bola un equilibrio inestable, haciendo que ésta se apoye sobre la superficie del cilindro y cerrando, por lo tanto, el circuito. Por el contrario, cuando está situada bajo el eje de la rueda, la bola tiende, por gravedad, a ir al fondo del orificio, dejando el circuito abierto.

En el aparato construído se han dispuesto tres de estos elementos, en una circunferencia de 0,56 m. de radio y situados a 120°, como se indica esquemáticamente en la figura 5.^a.

Al arrancar el tren, la señal estará funcionando, pues obligadamente algún elemento estará situado por encima del eje geométrico de la rueda. Dejará de lucir de un modo permanente cuando la aceleración centrífuga sea ligeramente superior a la de la gravedad, pues entonces, aun cuando los elementos estén situados en la parte superior, la aceleración centrífuga superará a la de la gravedad y la bola estará en todo momento en el fondo del orificio, quedando abierto el circuito de la señal.

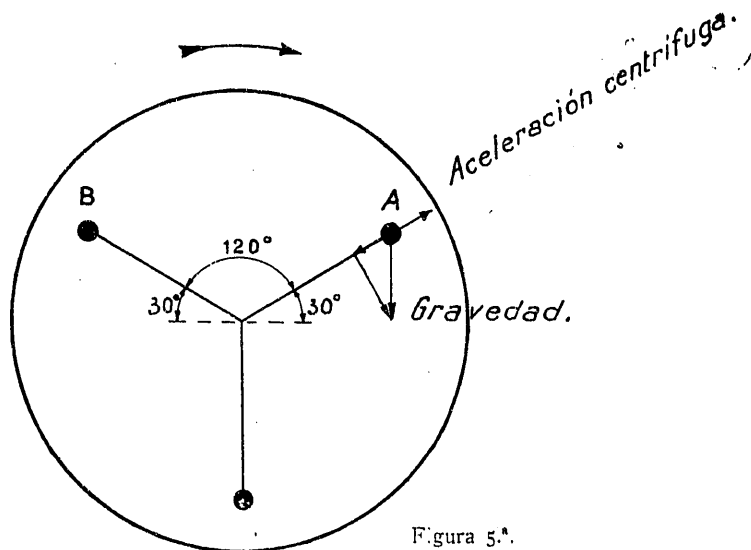


Figura 5.^a.

La condición anterior se verificará para la velocidad

$$V = \sqrt{g \cdot r} = \sqrt{9,80 \cdot 0,56} = 2,34 \text{ m./seg.}$$

en el elemento detector, o sea, de

$$2,34 \cdot \frac{0,78}{0,56} = 3,26 \text{ m./seg.}$$

de velocidad periférica de la rueda, correspondiente a

$$3,26 \cdot 3,6 = 11,7 \text{ Km./hora}$$

de velocidad del tren.

Para velocidades superiores a la indicada, la señal estará permanentemente apagada.

Hay una cierta velocidad límite por debajo de la cual marca la señal de un modo permanente, comenzando a parpadear para velocidades superiores. Corresponde esta velocidad a la transición del contacto en uno y otro elemento, precisamente en la situación de los dos superiores de la figura 5.^a, que están, en un instante, en la misma posición. Si la velocidad es tal que produzca el equilibrio en tal posición, ocurrirá que, un instante antes de ocupar la posición citada, el

circuito estará cerrado, y la señal luciendo, por un elemento (el A, por ejemplo). Un instante después, el elemento A se ha abierto, pero en cambio se ha cerrado el B, o sea, que la lámpara lucirá ininterrumpidamente.

La velocidad correspondiente la encontramos equilibrando la aceleración centrífuga con la componente radial de la aceleración de la gravedad, que en este caso vale la mitad de dicha aceleración. Realizados los cálculos pertinentes, resulta que tal equilibrio se produce para una velocidad $\frac{1}{\sqrt{2}}$ de la antes calculada, o sea, de

$$\frac{11,7}{\sqrt{2}} = 8,3 \text{ Km./hora.}$$

En resumen, la lámpara deberá lucir de un modo permanente para velocidades inferiores a 8,3 kilómetros/hora. Apagándose y encendiéndose para velocidades comprendidas entre 8,3 y 11,7 Km./hora. Apagada cuando la velocidad es superior a 11,7 kilómetros/hora e inferior a 70 Km./hora, y encendida, para velocidades superiores a la última citada.

Ensayos efectuados.

El detector de patinado descrito fué instalado en el eje núm. 1 de la locomotora de la Renfe número

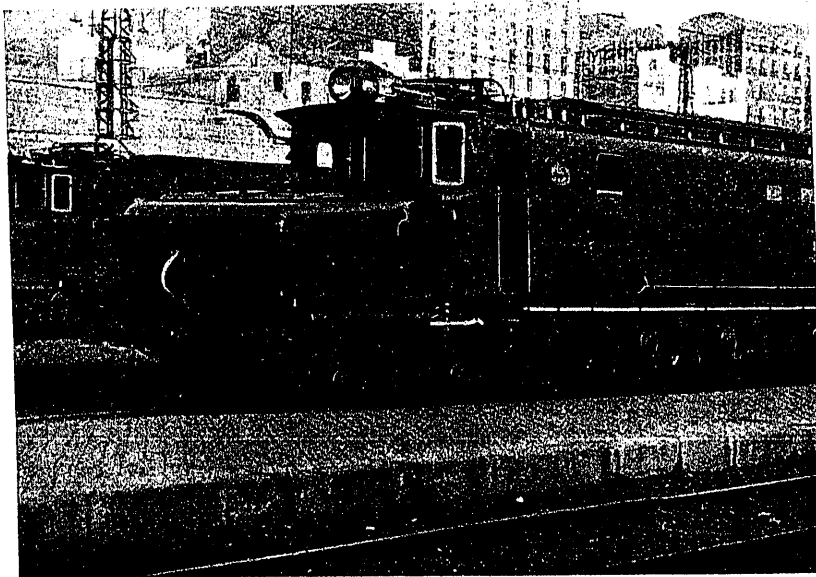


Figura 6.ª

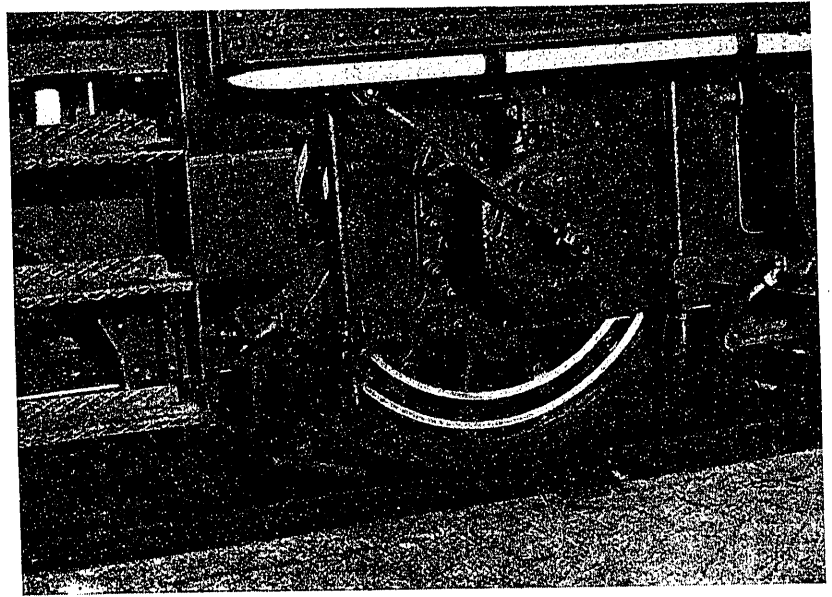


Figura 7.ª

7 505, pudiéndose apreciar los anillos colectores en la figura 6.ª, y con más claridad en la figura 7.ª, cuya fotografía fué tomada más próxima.

Fuó preciso colocar tales anillos colectores por no poder sacar la corriente con anillos interiores, que hubiesen sido más sencillos, ya que lo impedía la transmisión con eje hueco que tienen tales locomotoras.

La mencionada locomotora fué probada el día 27 de enero de 1948. La prueba consistió en circular a poca velocidad, comprobándose lo indicado en el cálculo teórico a propósito del detector de pequeña velocidad.

La prueba del detector de gran velocidad consistió en forzar el patinado del eje núm. 1, en el que estaba instalado el detector, sujetando con el freno los demás ejes y engrasando el carril bajo el eje núm. 1. También se ensayó circulando a velocidades superiores a 70 Km./hora, encendiéndose la señal y apagándose al reducir la velocidad bajo la cifra citada, quedando comprobados los cálculos anteriores.

La señal utilizada fué una lámpara de 15 W. y 60 voltios, que resultó perfectamente visible, aun cuando algunos ensayos se hicieron con luz de día y a pleno sol.