

ANEXO N° 1

Manual para pruebas en fábrica de motores de tracción para locomotoras

A. — GENERALIDADES

1. — Validez de estas Normas.

Las presentes Normas servirán de base para la recepción en fábrica de los motores de tracción que adquiera la Empresa de los Ferrocarriles del Estado de Chile, para locomotoras o automotores eléctricos o diesel-eléctricos, y serán parte integrante de los respectivos contratos de adquisición.

Al solicitarse ofertas por material de tracción eléctrica, los fabricantes deberán estudiar estas Normas que acompañan a las Especificaciones respectivas y hacer, junto con su oferta, las observaciones que ellas les merezcan.

Los proponentes deberán indicar, además, si cuentan con los elementos necesarios para realizar las pruebas ordinarias y especiales detalladas a continuación, y si están de acuerdo en efectuarlas exactamente en la forma que se indica.

Si los proponentes no se refieren especialmente a algún punto de estas Normas en su oferta, estos Ferrocarriles entenderán que ellas serán cumplidas estrictamente.

2. — Definición de regímenes continuo y unihorario.

Se entiende por potencia en régimen continuo de trabajo de un motor de tracción, la potencia que es capaz de suministrar en el banco de pruebas, en las condiciones de voltaje, corriente, excitación y ventilación especificadas en el capítulo B de estas Normas, durante un tiempo indefinido, sin sobrepasar los límites de calentamiento que allí se establecen.

Por potencia en régimen unihorario de trabajo se entiende la potencia que es capaz de suministrar en el banco de pruebas, en las mismas condiciones especificadas en el capítulo B, durante 60 minutos consecutivos, sin sobrepasar los límites de calentamiento que allí se establecen y partiendo con el motor a la temperatura ambiente del campo de pruebas, con los límites y tolerancias indicados en el capítulo citado.

3. — Definición de voltaje nominal, potencia útil del motor y potencia en llantas de la locomotora.

Se entiende por voltaje nominal de un motor de tracción, el voltaje nominal de su línea de alimentación dividido por el número de motores que trabajan per-

manentemente conectados en serie. Así, para líneas electrificadas con 3.000 Volts y para equipos con dos motores conectados en serie, el voltaje nominal será de $3.000/2 = 1.500$ Volts por motor.

Se entiende por potencia útil de un motor a la potencia mecánica disponible en su eje, medida en Kilowatts, o bien en Caballos Métricos, de 75 Kgm/seg.

Por potencia en llantas de una locomotora o automotor se entiende la suma de las potencias útiles de sus motores, menos la pérdida total de los dispositivos de transmisión del esfuerzo de los motores a las ruedas motrices. En esta forma quedan definidas para toda locomotora o automotor su potencia a los dos regímenes: continuo y unihorario, de acuerdo con los respectivos regímenes de sus motores, menos la pérdida total en elementos de transmisión.

B. — PRUEBAS ORDINARIAS

I. — Pruebas de calentamiento a régimen continuo y horario

4. — Voltaje.

Las pruebas de calentamiento a potencia continua y potencia horaria se realizarán con todos los motores conectados a su voltaje nominal. Además, los Ferrocarriles podrán exigir la realización de pruebas de calentamiento continuo y horario en un número limitado de motores, conectados al voltaje nominal, reducido en 10 %.

5. — Corriente de carga.

En caso que las especificaciones exijan para la locomotora o automotor una potencia en llantas determinada, la corriente de carga del motor será la necesaria para entregar en su eje la potencia en llantas especificadas para la locomotora más las pérdidas totales en las transmisiones y dividida por el número de motores. Las Especificaciones indicarán, en cada caso, el régimen al cual se exige una potencia determinada, su voltaje y la velocidad del vehículo.

La potencia exigida por los Ferrocarriles en las condiciones de régimen y voltaje especificados, servirá de pase para determinar la potencia de prueba del motor en las otras condiciones de régimen, y voltaje las que deberán cumplir también con lo que en cada caso se especifique.

Si las especificaciones no indican una potencia en llantas determinada, la corriente de carga del motor será la que indique el fabricante, de acuerdo con la potencia ofrecida para la locomotora o automotor.

6. — Excitación.

Las pruebas horaria y continua con voltaje normal y reducido se efectuarán con el motor conectado con su excitación completa (el total de las espiras del campo recorridas por una corriente igual a la de la armadura).

7. — Duración.

La prueba horaria se prolongará por 60 minutos consecutivos, partiendo con la máquina a la temperatura ambiente en el campo de pruebas.

La prueba continua, que podrá hacerse inmediatamente a continuación de la horaria, se prolongará hasta que durante dos horas no se observe variación en la diferencia entre las temperaturas de entrada y salida del aire de refrigeración con un mínimo de 8 horas de duración.

8. — Ventilación.

De acuerdo con lo especificado en cada oportunidad, los motores podrán ser autoventilados o dotados de ventilación forzada. En ambos casos las pruebas continua y horaria se efectuarán con el motor ventilado en las mismas condiciones en que funcionará en la locomotora o automotor.

Para este efecto, las pruebas se harán colocándole al motor todos sus elementos de ventilación, desde la entrada de aire a la locomotora hasta el motor mismo, o sea, filtros, ductos y canales de aire, fuelles, etc.

Para las pruebas, los ductos y canales serán reproducidos en madera u hojalata siguiendo exactamente la forma y dimensiones que tendrán estos elementos en la locomotora.

Para el caso de motores dotados de ventilación forzada, se empleará para las pruebas el mismo ventilador que se usará en las locomotoras, el que se hará funcionar a la velocidad mínima que se presente en servicio, o sea, la correspondiente al voltaje mínimo de operación de la locomotora y a plena carga de la máquina que lo accione.

En caso que no se disponga de este ventilador, podrá emplearse otro que proporcione exactamente la cantidad de aire del ventilador propio, funcionando en las condiciones anteriormente citadas.

Si debido a la disposición constructiva de los canales de aire alguno de los motores de la locomotora queda en situación desfavorable respecto a otros, con referencia a la cantidad de aire recibida, se probarán todos los motores conectados a la salida de aire que proporcione la menor cantidad.

Se observa que, para estos Ferrocarriles, los conceptos de régimen continuo y unihorario de un motor de tracción quedan ligados al sistema de ventilación empleado en el vehículo en que se instale dicho motor.

9. — Medida de la temperatura del aire de refrigeración durante las pruebas.

Para los motores dotados de ventilación forzada o autoventilados que reciben el aire a través de ductos, se medirá la temperatura del aire dentro del ducto de llegada al motor por lo menos a un metro de distancia de él.

Para los motores autoventilados que reciben el aire directamente, sin pasar por ductos, se medirá la temperatura del aire por medio de varios termómetros colocados a la distancia de 1 a 2 metros alrededor del motor, protegidos contra radiaciones de calor y corrientes de aire.

Con este objeto se colocarán los termómetros con su extremo dentro de un pequeño depósito metálico lleno de aceite. Este puede consistir en un trozo de ba-

rra redonda de por lo menos 25 milímetros de diámetro y 50 milímetros de largo, con una perforación en el centro, la que se llena de aceite y en la cual se introduce el extremo del termómetro.

Como temperatura del aire se considerará el valor medio de las lecturas tomadas cada 5 minutos durante el último cuarto de hora de las pruebas.

Esta temperatura deberá estar comprendida entre 15° C. y 35° C.

10. — Métodos de medida de las temperaturas del motor.

Se usarán los métodos del termómetro para el colector, la carcasa y los descansos y el método de aumento de resistencia eléctrica para los enrollados.

Para la medida de la resistencia podrá usarse ya sea el puente doble de Kelvin o el método de voltímetro y amperímetro.

No se acepta para la medida de temperaturas el empleo de pares termoelectrónicos.

11. — Fórmula para determinar el aumento de temperatura por el aumento de resistencia.

El aumento de temperatura al final de las pruebas se determinará por la siguiente fórmula:

$$t_2 - t_a = \frac{R_2 - R_1}{R_1} (235 + t_1) + t_1 - t_a$$

en que:

t_a = Temperatura del aire de refrigeración durante la prueba.

t_1 = Temperatura del enrollado al comienzo de la prueba.

t_2 = Temperatura del enrollado en °C. al final de la prueba.

R_1 = Resistencia en Ohms del enrollado al comienzo de la prueba.

R_2 = Resistencia en Ohms del enrollado al final de la prueba.

12. — Resistencia inicial.

Antes de proceder a las pruebas de temperatura, hay que asegurarse mediante lecturas de termómetro que la temperatura de los enrollados del motor no difiere en más de 4° C. del aire ambiente.

13. — Forma de determinar el calentamiento de los enrollados.

Este calentamiento se determinará por el aumento de resistencia de los enrollados de armadura, polos principales e interpolos, separadamente.

Junto con desconectar la máquina deberá interrumpirse la entrada de aire de ventilación y el tiempo de marcha en vacío deberá acortarse lo más posible, artificialmente.

La primera medida de resistencia deberá realizarse dentro de 60 segundos después de desconectada la máquina.

Se continuará midiendo la resistencia cada 20 segundos por espacio de dos minutos más.

La resistencia en el instante inicial del período de enfriamiento se determinará extrapolando en línea recta la curva de enfriamiento dibujada con escala logarítmica para las variaciones de temperatura y escala lineal para el tiempo.

Para el enrollado de armadura se medirá la resistencia antes y después de la prueba directamente sobre el colector y siempre en el mismo par de delgas, las que se marcarán con este objeto.

La corriente se ajustará al mismo valor, antes y después de la prueba y la caída de voltaje se medirá en el mismo par de segmentos en que se aplica la corriente.

Para aplicar la corriente y medir el voltaje, se usarán dos pares de contactos separados.

Si se usa el método de voltímetro y amperímetro para medir la resistencia, la corriente será aproximadamente el 20% de la corriente horaria.

14. — Calentamientos admisibles.

Los calentamientos máximos admisibles, determinados de acuerdo con las instrucciones que anteceden, no deberán exceder de los valores siguientes:

	Medida por:	Reg. cont.	Reg. horario
Armadura	Resist.	105°	120°
Campo principal	Resist.	105°	120°
Campo auxiliar	Resist.	105°	120°
Colector	Termómetro	85°	90°
Descansos	Termómetro	55°	55°

II. — PRUEBAS DE CONMUTACION Y SOBRECARGAS

15. — Generalidades.

Las pruebas que se indican a continuación se refieren a motores de corriente continua y deberán realizarse con el motor caliente, inmediatamente después de la prueba a potencia horaria.

Cada prueba será efectuada dos veces, una en cada sentido de rotación y con 30 segundos de duración cada una.

Entre cada dos pruebas en sentido contrario de rotación, el fabricante podrá hacer funcionar el motor durante 5 minutos al voltaje normal y con una corriente igual o inferior a la unihoraria, a fin de mejorar la superficie de contacto de las escobillas, las que, sin embargo, no deberán ser movidas ni ajustadas.

El motor deberá soportar las pruebas sin deterioro mecánico, ni chispazos en el colector (flash) o daños permanentes que afecten a su funcionamiento normal o que exijan una atención inmediata del motor.

16. — Magnitudes de las pruebas.

I = Corriente al régimen unihorario.

E = Tensión nominal de la línea de contacto.

n = Número de motores permanentemente conectados en serie.

$$e = \frac{E}{n} = \text{Tensión nominal por motor.}$$

CONDICIONES DE LA PRUEBA	VEHICULO A QUE PERTENECE EL MOTOR	PRUEBA Nº	VOLTAJE	CORRIENTE	EXCITACION
Trabajando como motor	Todas las locomotoras y automotores	1	e	0,5 I	Máxima
		2	1,5 e	0,6 I	
		3	1,25 e	I	
		4	e	2 I	
		5	e	0,5 I	Mínima
		6	1,25 e	I	
		7	e	2 I	
Trabajando como generador	Locomotoras con regeneración	8	1,5 e	1,4 I	Reducida
	Automotores con regeneración	9	1,1 e	2,5 I	
	Locomotoras y automotores con freno reostático	10	Repetir pruebas Nº 1 al 7		

A fin de no sobrepasar el número de revoluciones fijado para la prueba de sobrevelocidad (Cap. IV) durante las pruebas anteriores Nº 1 al 7 podrá aumentarse la corriente, si se trata de pruebas con corriente inferior a la horaria, o reducirse el voltaje, si se trata de pruebas con voltaje superior al nominal.

La excitación para las pruebas N.os 8 y 9 se fijará de modo que el motor gire con una velocidad 50% superior a la correspondiente a campo completo, para los mismos valores de voltaje y corriente.

Si esta velocidad excede a la máxima exigible en servicio, podrá alterarse la excitación para no sobrepasar este valor.

III. — PRUEBAS DE ARRANQUE

17. —

Con el rotor frenado el motor deberá soportar una corriente igual a por lo menos 1,7 veces la corriente unihoraria, durante un minuto.

Esta prueba se repetirá cuatro veces con cinco minutos de intervalo, girando cada vez el rotor en 1/4 del paso polar en la misma dirección.

Después de las pruebas, el conmutador no debe presentar demostraciones de quemaduras o sobrecalentamiento.

IV. — PRUEBAS DE SOBREVELOCIDAD

18. —

Cada motor deberá funcionar durante 2 minutos a una velocidad angular igual a 1,35 veces la correspondiente a la máxima especificada para la locomotora o automotor. Esta prueba se hará con el motor caliente.

Después de esta prueba el motor no debe presentar ninguna deformación permanente y debe poder soportar la prueba de rigidez dieléctrica y una de las pruebas de sobrecarga indicadas en Art. 16.

V. — PRUEBAS DE RIGIDEZ DIELECTRICA

19. —

Después de las pruebas de calentamiento y de sobrevelocidad con el motor a unos 75° C. se realizará la prueba de rigidez dieléctrica aplicando entre los enrollados del motor y su carcasa una tensión alterna sinusoidal de frecuencia entre 25 y 100 ciclos por segundo.

La tensión se irá aumentando progresivamente hasta alcanzar el valor efectivo de:

$$2,25 E + 2.000 \text{ Volts}$$

en que E es el voltaje nominal de la línea de contacto.

Este valor se mantendrá por 60 segundos.

VI. — CURVAS CARACTERISTICAS Y RENDIMIENTO

20. —

Para cada motor se determinarán sus curvas características correspondientes a las diversas excitaciones, las que indicarán la velocidad del motor, el mo-

mento de torsión (torque) en el eje y el rendimiento en función de la corriente de la armadura, para tracción y regeneración.

Estas curvas se determinarán a voltaje constante igual a $\frac{E}{n}$ y $\frac{E}{n} - 10\%$,

en que E es el voltaje nominal de la línea de contacto y n el número de motores conectados permanentemente en serie. Las curvas se tomarán con la máquina caliente (entre 75° C. y 100° C.), midiéndose la temperatura de los enrollados antes y después de tomar las curvas y corrigiéndolas luego para 100° C.

Para cada curva se tomarán cinco o seis puntos en cada sentido de rotación.

21. — Método recomendado.

Tanto para las pruebas de temperatura como para la determinación de las curvas características y rendimiento, se recomienda de preferencia el uso del método regenerativo o de oposición (Método de Hopkinson), consistente en acoplar mecánicamente con o sin engranajes, dos motores de tracción iguales y conectarlos eléctricamente de modo que uno funcione como motor y el otro como generador.

Para suplir las pérdidas del conjunto desde una fuente exterior, podrán emplearse dos sistemas:

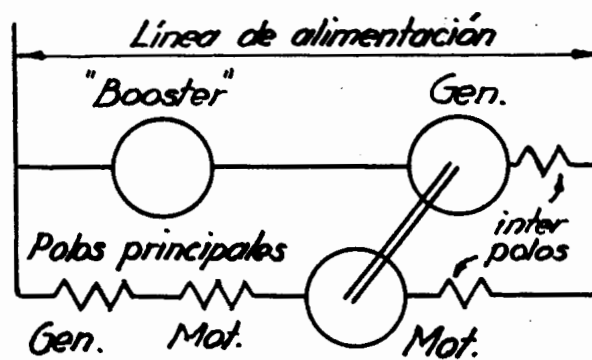


Fig. 1.

a) Método Hopkinson paralelo:

Ambas máquinas están conectadas en paralelo a una línea de alimentación, y acopladas directamente entre sí. (Fig. 1).

Como los enrollados de campo de ambas máquinas están en serie y su velocidad es la misma, las pérdidas histeréticas y Foucault de ambas serán aproximadamente iguales. La corriente que toma el motor será igual a la que le proporciona el generador más la que toma de la línea.

Si designamos por:

- E_m el voltaje en bornes del motor, incluyendo su campo.
- E_l el voltaje de la línea de alimentación.
- E_b el voltaje del generador auxiliar o booster.
- I_m la corriente del motor.
- I_l la corriente de la línea.
- I_g la corriente del generador.
- R_g la resistencia de la armadura y polos de conmutación del generador.
- R_m la resistencia de la armadura y polos de conmutación del motor.
- e la caída de voltaje en las escobillas para cada máquina, entonces el rendimiento del motor será:

$$\eta = \frac{2E_m I_m - E_l I_g - E_l I_l - R_m I_m^2 + R_g I_g^2 - I_l e}{2 E_m I_m}$$

$$\eta = 1 - \frac{E_b I_g + E_l I_l + R_m I_m^2 - R_g I_g^2 + I_l e}{2 E_m I_m}$$

Esta fórmula supone que las resistencias de los enrollados similares de ambas máquinas son iguales y se encuentran a la misma temperatura.

En la práctica, si estas diferencias no exceden del 5 a 10% el error de esta fórmula es inferior a los errores experimentales.

Para determinar el rendimiento deberá hacerse la lectura de instrumentos después que la carga haya permanecido constante por lo menos durante un minuto. Se tomarán dos series de valores, invirtiendo la función de las dos máquinas. El valor definitivo será el promedio de ambos resultados.

Para e se tomará el valor de 3 Volts.

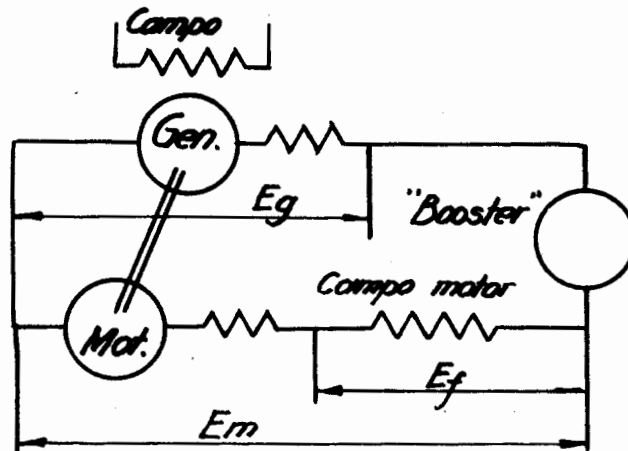


Fig. 2

b) **Métodos Hopkinson serie:**

Ambas máquinas se acoplan eléctrica y mecánicamente entre sí, como indica la Fig. 2. El booster suministra las pérdidas totales del motor y las de la armadura e interpolos del generador.

El campo del generador se excita separadamente. (También puede dejarse en serie con el circuito, pero siempre en forma regulable mediante resistencia en paralelo).

Si designamos por:

E_m el voltaje en bornes del motor.

E_g el voltaje en bornes del generador.

E_f la caída de voltaje en el campo del motor.

El rendimiento del motor será:

$$\eta = \frac{E_m + E_g - E_f}{2 E_m}$$

22. — Corrección del rendimiento para la temperatura de referencia.

El rendimiento de los motores a cualquier carga será corregido para la temperatura de referencia de 100° C., mediante la fórmula:

$$\eta_{100} = \eta - (R_{100} - R) \frac{E_m}{I_m}$$

en que:

η_{100} = rendimiento corregido para 100° C.

η = rendimiento medido a la temperatura de la máquina.

R_{100} = resistencia de los enrollados de campo y armadura del motor a 100° C.

R = resistencia de los enrollados de campo y armadura del motor a la temperatura de la prueba.

I_m = corriente del motor.

E_m = voltaje del motor.

23. — Tolerancias admisibles.

a) **Tolerancias de diseño.**

Entre las curvas de velocidad en función de la corriente calculadas y garantizadas por el fabricante en su oferta y las curvas tipo de cada serie de motores no deberá haber una variación superior a $\pm 4\%$ de las primeras para el valor de la velocidad correspondiente a una corriente determinada.

Se entenderá por curvas tipo de una serie de motores, las que indique el fabricante después de ensayar los 10 primeros motores de una serie de motores iguales de nuevo diseño, o todos si la serie es de menos de 10 unidades.

Esta tolerancia de diseño se aplicará con el motor caliente (100° C. en los enrollados), para ambos sentidos de rotación, a voltaje normal y para corrientes comprendidas entre 0,75 y 1,75 veces la de régimen continuo.

b) Tolerancias de fabricación.

Cada motor de una serie no deberá presentar diferencias en su velocidad en función de la corriente respecto a la indicada en la curva tipo de la serie, superiores a $\pm 3\%$ para excitación completa y $\pm 4\%$ para excitación mínima.

Esta tolerancia de fabricación se apreciará bajo las mismas condiciones de temperatura, voltaje y corriente que la tolerancia de diseño.

Será suficiente para cada motor, controlar su tolerancia de fabricación para excitación máxima y mínima y para 0.75 y 1.75 veces la corriente de régimen continuo.

c) Tolerancias en las pérdidas.

Bajo las condiciones correspondientes a la prueba horaria las pérdidas totales del motor a 100° C. no deberán exceder a las especificadas en la oferta en más del 10% de estas últimas.

C. — PRUEBAS ESPECIALES

En dos motores de cada serie se realizarán, además de las pruebas ordinarias anteriores, las pruebas especiales que se detallan a continuación:

I. — Desconexión y reconexión brusca.

Estando un motor conectado a plena carga de régimen horario, se desconectará su alimentación y se la reconectará después de un tiempo superior a 2 segundos.

Como carga se usará un generador acoplado directamente al motor, con excitación separada, el que se desconectará simultáneamente con el motor para evitar que la velocidad del motor baje muy rápido (Ver Fig. 3).

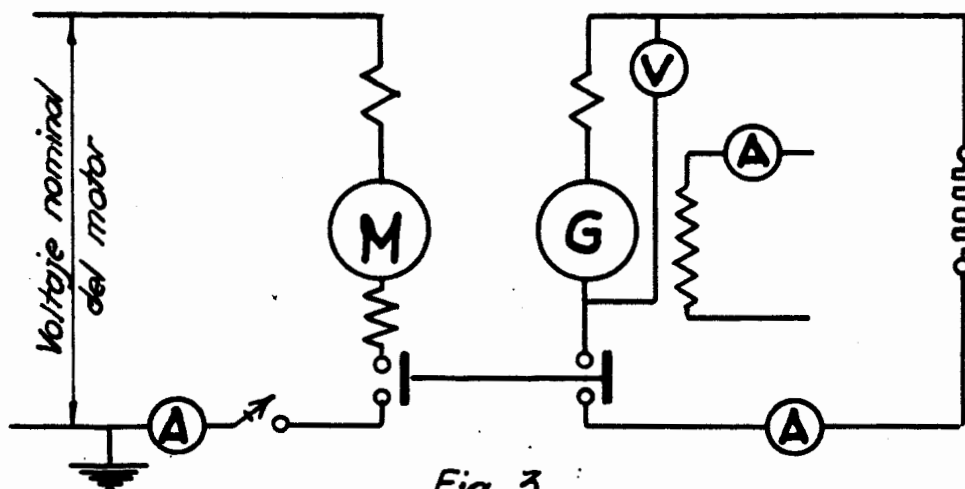


Fig. 3

El voltaje en vacío del generador, con excitación constante, servirá de medida para la velocidad del grupo.

Para tener datos exactos de los voltajes, corrientes y velocidades al desconectar y al reconectar, deberán tomarse oscilogramas de las pruebas.

El tiempo entre la desconexión y la reconexión, se irá alargando paulatinamente, para obtener cada vez mayor diferencia entre la velocidad del motor al reconectar y la de régimen al voltaje aplicado.

Si el registro del voltaje de la línea de alimentación indica que en el instante de reconectar, el voltaje cae en más del 10% del valor especificado, deberá repetirse la prueba, ajustando más alto el voltaje de reconexión, de modo que al reconectar no baje a menos del valor especificado, con 10% de tolerancia. Junto con el motor se reconectará la carga del generador.

La energía deberá tomarse de una fuente de la mayor capacidad posible.

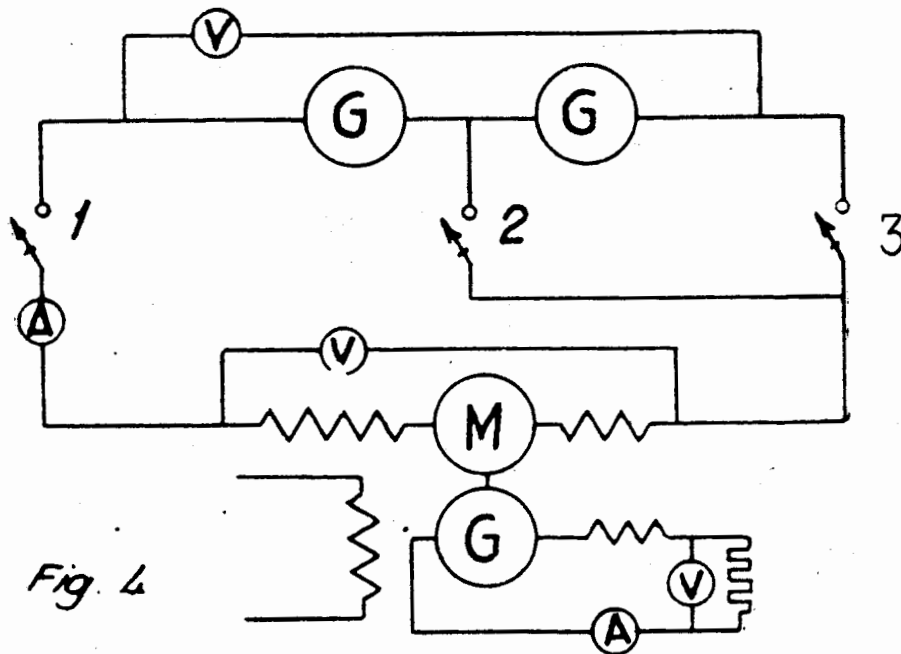
El fabricante indicará en su oferta el máximo porcentaje de reducción de velocidad que podrá usarse en esta prueba, sin producir "flash" en el colector u otro daño en el motor que le impida continuar en servicio sin atención inmediata.

Se estima aceptable efectuar esta prueba con reducciones de velocidad de 10 a 15%.

Para mayor seguridad, podrá instalarse en el circuito del motor una resistencia amortiguadora, la que se irá reduciendo progresivamente, hasta anularla por completo.

II. — Aumento brusco de voltaje bajo carga.

Se usará una conexión similar a la indicada en la figura 4, alimentando el motor mediante dos generadores, cada uno de una potencia igual o superior a 5 veces la potencia del motor y de voltaje regulable entre 0 y $\frac{E}{2n}$



Para la prueba se ajustará el consumo del generador que sirve de carga, de modo que el motor trabaje a la corriente de régimen horario alimentado sólo por

un generador, con $\frac{E}{2n}$ Volts, con automáticos 1 y 2 cerrados. Luego se abrirá

el automático 2, cerrando tras un corto intervalo el cuchillo 3, para que el motor reciba el voltaje sumado de ambos generadores. El voltaje del segundo generador se ajustará a un cuarto del valor final, valor que se irá subiendo progresivamente

hasta llegar a $\frac{E}{2n}$ Volts.

El intervalo entre ambas operaciones será como mínimo de 0,3 segundos.

Como en el caso anterior el motor deberá soportar el aumento brusco de

voltaje de $\frac{E}{2n}$ a $\frac{E}{n}$ Volts bajo carga, sin "flashover" o daño alguno que re-

quiera atención inmediata. Estas pruebas serán también oscilografiadas.

D.—RECEPCION DE LOS MOTORES Y ENTREGA DE ACTAS

Una vez realizadas satisfactoriamente las pruebas anteriores, se dará por recibido el motor, colocándole el sello de estos Ferrocarriles.

Esta recepción no interfiere en ningún caso con las recepciones provisorias o definitivas que en cada oportunidad se especifiquen para la locomotora o automotor una vez armado.

El fabricante deberá entregar, inmediatamente después de cada prueba, la correspondiente Acta al Inspector de estos Ferrocarriles.

Junto con el equipo, se entregará más tarde un cierto número de ejemplares de un libro conteniendo todas las Actas en limpio de los motores suministrados.