

# Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA



---

## DISEÑO DE CONTROL REMOTO PARA OPERACION DE TRANVIAS

**Objetivo:** Implementar un equipo que permita operar conjuntamente dos o tres tranvías con un solo operador, dándole mayor eficiencia al equipo ya instalado

## Seminario de Investigación

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A N

Almanza Chávez José Antonio  
Bobadilla Pacheco José Francisco Simeón  
Torres Reyes José Luis



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## INDICE

### I. - Introducción.

- 1.1). - Cuestionario No. 1 de las encuestas realizadas.
- 1.2). - Resultados de la primera encuesta que se realizó con usuarios y personal del Sistema de Transporte Eléctrico.
- 1.3). - Cuestionario No. 2 de las entrevistas realizadas.
- 1.4). - Resultados obtenidos en la segunda encuesta.
- 1.5). - Tiempos en el sistema de transporte eléctrico.
- 1.6). - Tableros de Instrumentos del tranvía.
- 1.7). - Clasificación del transporte masivo.

### II. - Funcionamiento del equipo eléctrico de los tranvías.

- 2.1). - Circuito de fuerza motriz.
- 2.2). - Circuito de Control.
  - 2.2.1). - El control maestro.
  - 2.2.2). - El grupo motor generador.
- 2.3). - Funcionamiento durante la aceleración.
- 2.4). - Frenos.
  - 2.4.1). - Frenado dinámico.
  - 2.4.2). - Frenos de balata y de vía.
  - 2.4.3). - Frenos de vía.

### III. - Acoplamiento de Tranvías.

- 3.1). - Acoplamiento mecánico.

### IV. - Acoplamiento Eléctrico.

- 4.1). - Frenado de balatas.
- 4.2). - Frenado de vía.

### V. - Conclusiones.

### VI. - Bibliografía.

## I. - INTRODUCCION.

Durante los últimos años, hemos observado que los tranvías se han -- substituído paulatinamente por otros medios de transporte masivo, -- como el Metro, camiones o trolebuses. Considerando que este medio- de transporte es todavía muy importante en México, creemos necesaria una revisión del mismo motivándonos ésto para hacer estudios -- sobre este sistema de transporte.

Para conocer la situación real en que se encuentra este sistema de -- transporte, realizamos una encuesta con los usuarios y operadores -- del tranvía, para ubicarnos en forma adecuada en el problema, y de esta forma tratar de modificar y resolver el problema de readaptación -- de este sistema, en el caso de que sea justificable; pues consideramos que se puede utilizar este medio de transporte en forma más adecuada y eficiente.

En un primer ensayo realizamos una encuesta que tiene como objetivo principal, ubicarnos en el problema y conocer las necesidades -- reales de readaptación, así como la problemática que en este momento lo tiene en decadencia como un medio de transporte masivo.

El cuestionario aplicado en las encuestas, contenía las siguientes preguntas:

### 1. 1). - CUESTIONARIO # 1 DE LAS ENCUESTAS REALIZADAS.

Objetivo: Conocer la necesidad real del transporte masivo por medio del tranvía.

1. - ¿Porqué utiliza el tranvía como medio de transporte?
2. - ¿ Tiene problemas para abordar el tranvía?
3. - ¿Considera que es rápido, lento o normal este medio de transporte?
4. - ¿Es conveniente la apertura de una nueva ruta?
5. - Sugerencias para un mejor servicio de éste sistema de transporte- por parte del usuario.
6. - ¿Es benefico el acoplamiento de dos o mas unidades?

### 1.2. - RESULTADOS DE LA PRIMERA ENCUESTA QUE SE REALIZO CON USUARIOS Y PERSONAL DEL TRANSPORTE ELECTRICO ( TRANVIAS ). -

De una muestra de 25 personas se obtuvo el siguiente muestreo:

	A favor		En contra
1. - Vialidad y Seguridad	16		9
2. - Economía	9		16
3. - Problemas de acceso	10		15
4. - Tiempo de recorrido	R 5	L 3	N 17
5. - Apertura de nueva ruta	22		1
6. - Acoplamiento de carros	20		3
7. - Sugerencias por parte del usuario			
a). - Mayor frecuencia			
b). - Más vigilancia			
c). - Incremento del número de redes			
d). - Mantenimiento			

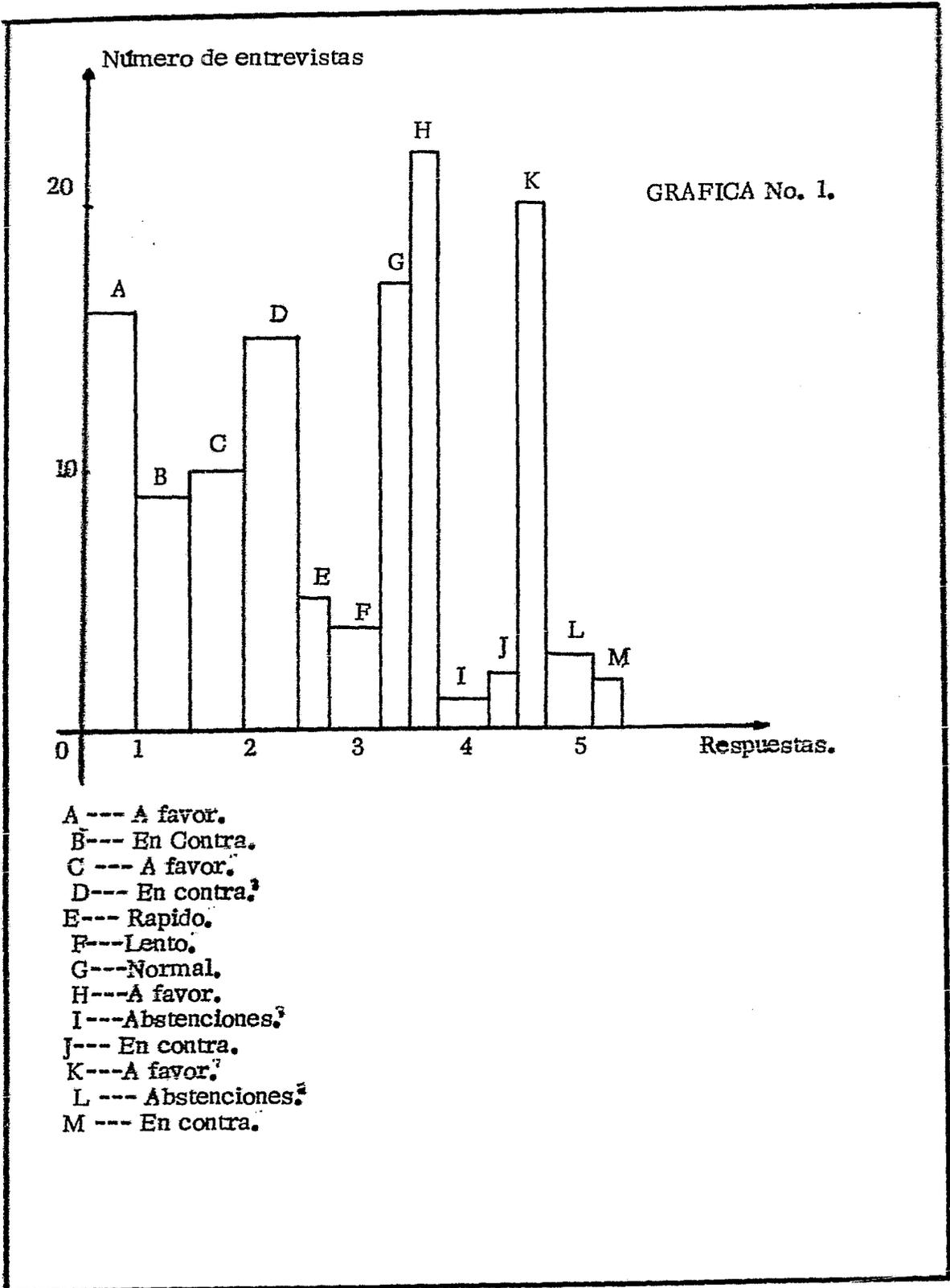
( ver grafica #1)

#### Nota:

En forma somera se puede observar que los requerimientos actuales de éste medio de transporte es que se utilizen mayor número de unidades y darles un mayor mantenimiento.

Los resultados de la primera encuesta que se realizó con los --- usuarios y personal del transporte eléctrico (tranvía), nos condujo a la decisión de hacer un estudio más a fondo de su problemática. -- De ésta forma decidimos hacer un estudio más a fondo pues consideramos que la muestra debía ser más representativa, por lo que formulamos un segundo cuestionario que a continuación se enuncia:

### 1.3. - CUESTIONARIO #2 DE LAS ENTREVISTAS REALIZADAS. -



- 1.<sup>o</sup>- ¿Está de acuerdo en que se acoplen dos o tres tranvías?
- 2.<sup>o</sup>- ¿Si este servicio fuese mas eficiente que el sistema actual pagaría ud.<sup>o</sup> lo que cobrarán?
- 3.<sup>o</sup>- ¿Estaría de acuerdo en que solo hubiera un número determinado de paradas en la ruta?
- 4.<sup>o</sup>- ¿Estaría de acuerdo que se vendieran boletos en cada parada?
- 5.<sup>o</sup>- ¿Estaría de acuerdo que nuestro nuevo sistema desarrollará una velocidad promedio de 80 Km./hr.?
- 6.<sup>o</sup>- ¿Creé usted conveniente el que se pongan andenes en cada parada?
- 7.<sup>o</sup>- ¿Le gustaría que se ampliaran las rutas?
- 8.<sup>o</sup>- ¿Le gustaría que se aumentaran el número de unidades para ofrecer un mejor servicio?

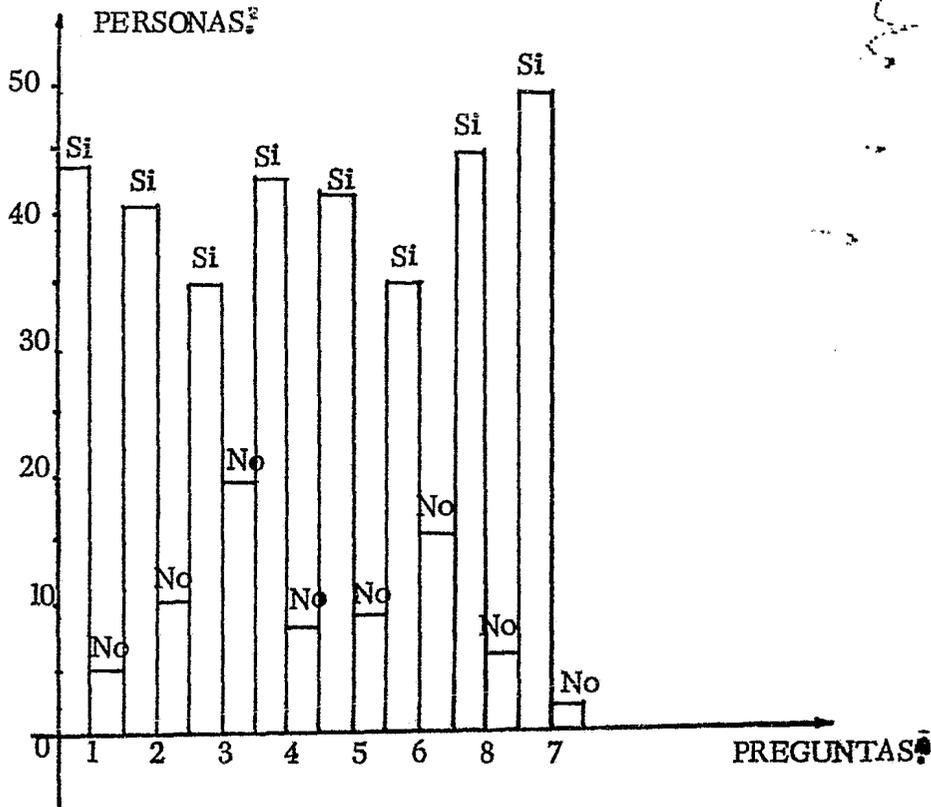
A continuación se presenta una interpretación de los resultados en diagramas de barras. (ver gráfica # 2). Para ubicarnos aún mas en el problema decidimos hacer observaciones que nos dieran una mayor información y que también nos introducirán mas al problema que tratamos de plantear y posteriormente darle una solución adecuada.

#### 1.4. - RESULTADOS OBTENIDOS EN LA SEGUNDA ENCUESTA

El número de entrevistas realizadas entre los usuarios del tranvía fueron de una muestra de 50.

Pregunta	Respuestas	
	SI	NO
Primera	45	5
Segunda	40	10
Tercera	34	19
Cuarta	42	8
Quinta	41	9
Sexta	35	15
Séptima	48	2
Octava	44	6

Como se puede ver los resultados obtenidos de una muestra mayor, convergen en que si es necesaria una readaptación de este sistema de transporte, ya que las respuestas a las preguntas formuladas coinciden en reafirmarla.



GRAFICA No. 2.

De esta manera realizamos viajes más continuos en los tranvías, observamos su funcionamiento, operación, manipulación por parte de los operadores, control de apertura y cierre de puertas; así como otros elementos que a continuación describiremos.

Primeramente se hará una cuantificación de los tiempos de recorrido en una hora pico, tomando también en cuenta la afluencia de pasaje en cada parada.

1.5. - TIEMPOS EN EL SISTEMA DE TRANSPORTE ELECTRICO ( -- TRANVIA ).

RUTA: (Tasqueña - Xochimilco )

Espera en andenes: Nueve min. de 13 hrs. a 13.09 hrs.

No. de paradas	Tiempo de permanencia	Afluencia de pasaje		
		P	N	M
1a. parada	38 seg.	X		
2a. parada	47 seg.	X		
3a. parada	26 seg.	X		
4a. parada	65 seg.		X	
5a. parada	10 seg.	X		
6a. parada	32 seg.		X	
7a. parada	20 seg.	X		
8a. parada	10 seg.	X		
9a. parada				
10a. parada	25 seg.		X	
11a. parada	30 seg.	X		
12a. parada	10 seg.	X		
13a. parada	140 seg.	X		
14a. parada	100 seg.	X		
15a. parada	110 seg.			X
16a. parada	10 seg.	X		
17a. parada	5 seg.	X		
18a. parada	10 seg.	X		
19a. parada	15 seg.	X		
20a. parada	15 seg.	X		
21a. parada				
22a. parada	65 seg.	X		
23a. parada	20 seg.		X	
24a. parada	35 seg.		X	
25a. parada	160seg.			X

No. de paradas	Tiempo de permanencia	Afluencia de pasaje		
		P	N	M
26a. parada	15 seg.	X		
27a. parada	30 seg.			X
28a. parada	50 seg.		X	
29a. parada	70 seg.	X		
30a. parada	70 seg.	X		
31a. parada	10 seg.	X		
32a. parada	45 seg.		X	
33a. parada	25 seg.			X
34a. parada	15 seg.	X		
35a. parada	10 seg.			X
36a. parada	60 seg.			X
37a. parada	38 seg.	X		
38a. parada	47 seg.	X		
39a. parada	26 seg.	X		
40a. parada	125 seg.		N	
41a. parada	10 seg.	X		
42a. parada	32 seg.		X	
43a. parada	20 seg.	X		
44a. parada	10 seg.	X		
45a. parada				
46a. parada	25 seg.		X	
47a. parada	30 seg.	X		
48a. parada	10 seg.	X		
49a. parada	140 seg.	X		
50a. parada	100 seg.	X		

Tiempo total del recorrido de la ruta Taxqueña-Xochimilco es igual a 1 hr. 1 min. 52 seg.

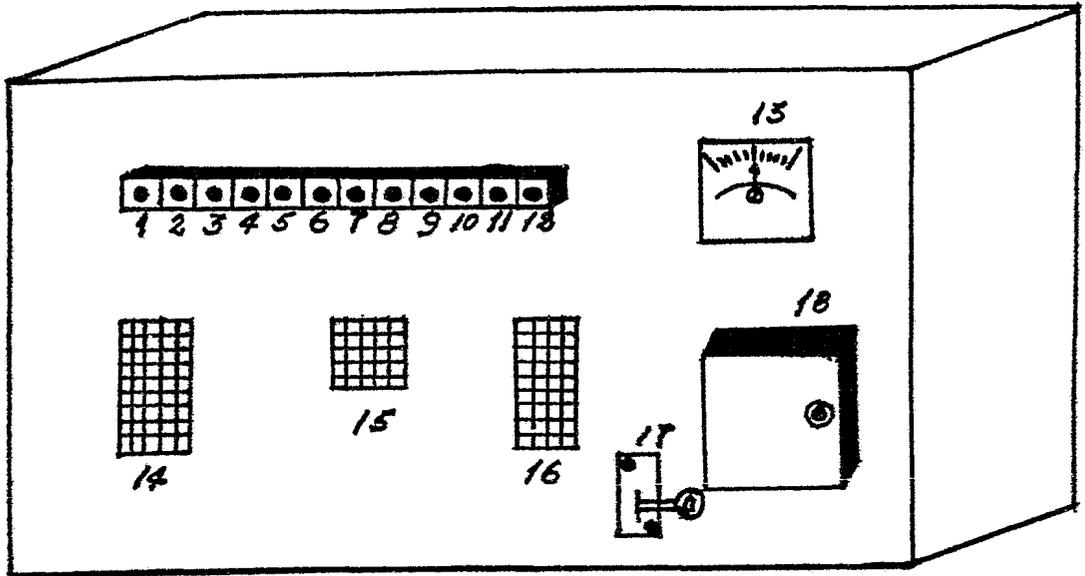
La letra P nos indica que la afluencia de usuarios es menor de 7.

La letra N nos indica que la afluencia de usuarios son de 10.

La letra M nos indica que la afluencia de usuarios son más de 12.

## I.6. - TABLEROS DE INSTRUMENTOS DEL TRANVIA. -

La distribución de los instrumentos para la operación del tranvía que utiliza el operador se muestra a continuación:



1. - Interruptor para la campana.
2. - Interruptor puerta delantera izquierda.
3. - Interruptor puerta central izquierda.
4. - Interruptor puerta central derecha.
5. - Interruptor puerta delantera derecha.
6. - Arenero.
7. - Pala de levantamiento de objetos dejados sobre el pavimento.
8. - Desconectado.
9. - Interruptor de la farola.
10. - Luces Interiores.
11. - Luces Interiores.
12. - Luces Interiores.
13. - Voltímetro que mide el Voltaje en la batería de frenado de vía.
14. - Pedal de seguridad.
15. - Pedal de freno.
16. - Pedal de Aceleración.
17. - Palanca de tres posiciones ( De seguridad, marcha hacia adelante, marcha hacia atrás ).
18. - Caja de fusibles e Interruptores de la alimentación del tranvía.

La forma en que están distribuidos los asientos en el tranvía, puede - considerarse con una disposición dinámica adecuada como se puede observar en la figura A.

Hemos descrito en forma cualitativa el tranvía, en capítulos posteriores haremos la descripción eléctrica de su funcionamiento de manera formal.

Además se clasificará en forma breve la situación actual de los diferentes tipos de transporte que operan en el Distrito Federal de la Ciudad de México. Esto nos permite sentir la importancia del tranvía como un medio de transporte masivo.

## 1.7.- CLASIFICACION DEL TRANSPORTE MASIVO.

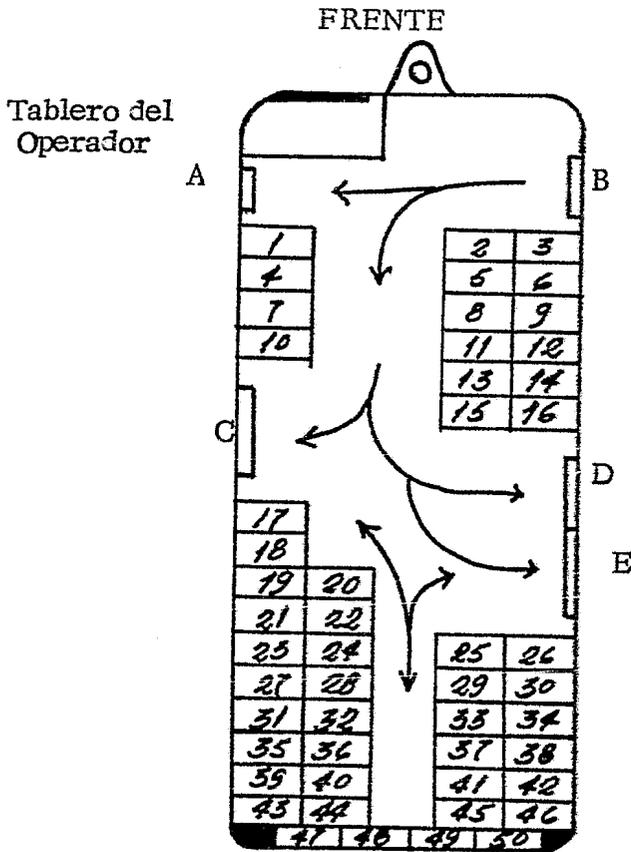
Sistema de Transporte Eléctrico; Metro, Trolebuses, y Tranvías.

Sistema de Transporte Colectivo: Taxis y Tolerados.

Líneas de Autobuses: Líneas Urbanas (Ruta 100), Líneas Suburbanas, y Líneas Foráneas.

De todo lo anterior se puede concluir que este sistema de transportes necesita un reacondicionamiento para las necesidades actuales, puesto que su servicio es muy necesario para el transporte de gente en forma masiva de las zonas circunvecinas al D.F. de la Ciudad de México como está operando la línea Xochimilco-Taxqueña y viceversa. Para tener una ubicación de la ruta antes mencionada se puede observar el plano A.

ESQUEMA DE LA COLOCACION DE ASIENTOS EN EL  
TRANVIA PARA ANALISIS DE VIALIDAD EN SU INTERIOR.



Total de asientos: 50  
Accesos: A, B, C, D, E.

Figura A

## II.- FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO ELECTRICO DE LOS TRANVIAS

El equipo eléctrico de los tranvías esencialmente consta de dos partes:

- a). - El circuito de Fuerza Motriz (600 Volts de D.C.)
- b). - El circuito de Control (32 Volts de D.C.)
- a). - El circuito de fuerza motriz está integrado por los circuitos que operan con el voltaje entre el trole y tierra (rieles).
- b). - El circuito de control es aquel que opera con el voltaje proporcionado -- por las baterías.

Para facilitar la descripción, de los diferentes aparatos y equipo que componen cada uno de los circuitos, como son el de fuerza motriz, y el de control se irán intercalando paso a paso cada uno de ellos.

### 2.1.- CIRCUITO DE FUERZA MOTRIZ

Cada uno de los tranvías tiene 4 motores de tracción, 2 motores en el juego de ruedas delanteras y dos motores en el juego de ruedas traseras. Los motores 1 y 2 delanteros están acoplados entre sí eléctricamente con conexión en serie, lo mismo sucede con los motores 3 y 4. A la vez los motores 1 y 2 están conectados permanentemente en paralelo con los motores 3 y 4.

Si a lo anterior se le agrega un interruptor de línea (LS) en cual opera todo el circuito así como un interruptor de cuchillas y protección de sobrecarga (OL), obtendremos un diagrama como el de la figura #1.

El interruptor de línea es una unidad grande especialmente diseñada para soportar grandes sobrecargas. Está equipado con un relevador especial de sobrecarga de disparo rápido el cual tiene un núcleo y una armadura laminados.

Cuando el relevador de sobrecarga opera, abre los contactos del interruptor de línea por medio de un dispositivo mecánico, este tipo de interruptor se muestra en la figura #2.

A continuación se darán las especificaciones y curvas características de un motor de tracción de un tranvía, (datos proporcionados por el sistema de transporte eléctrico del D. del D.F.)

55 H.P. (En la flecha).

300 Volts.

156 Amperes (1 hora) 135 Amperes (continuos)

1670 R.P.M. (1 hora) 1820 R.P.M. (continuos)

Excitación serie (con bobinas en derivación con el campo serie, ventilación forzada con 7.09 m<sup>3</sup>/min. de aire).

Aislamiento clase B.

Peso total (con cople) 314 kg.

Relación de engranes: 7.17 a 1.

Velocidad máxima (5000 R.P.M. con ruedas de 63.53 cm) 83.5 km/hr.

( ver figura #3)

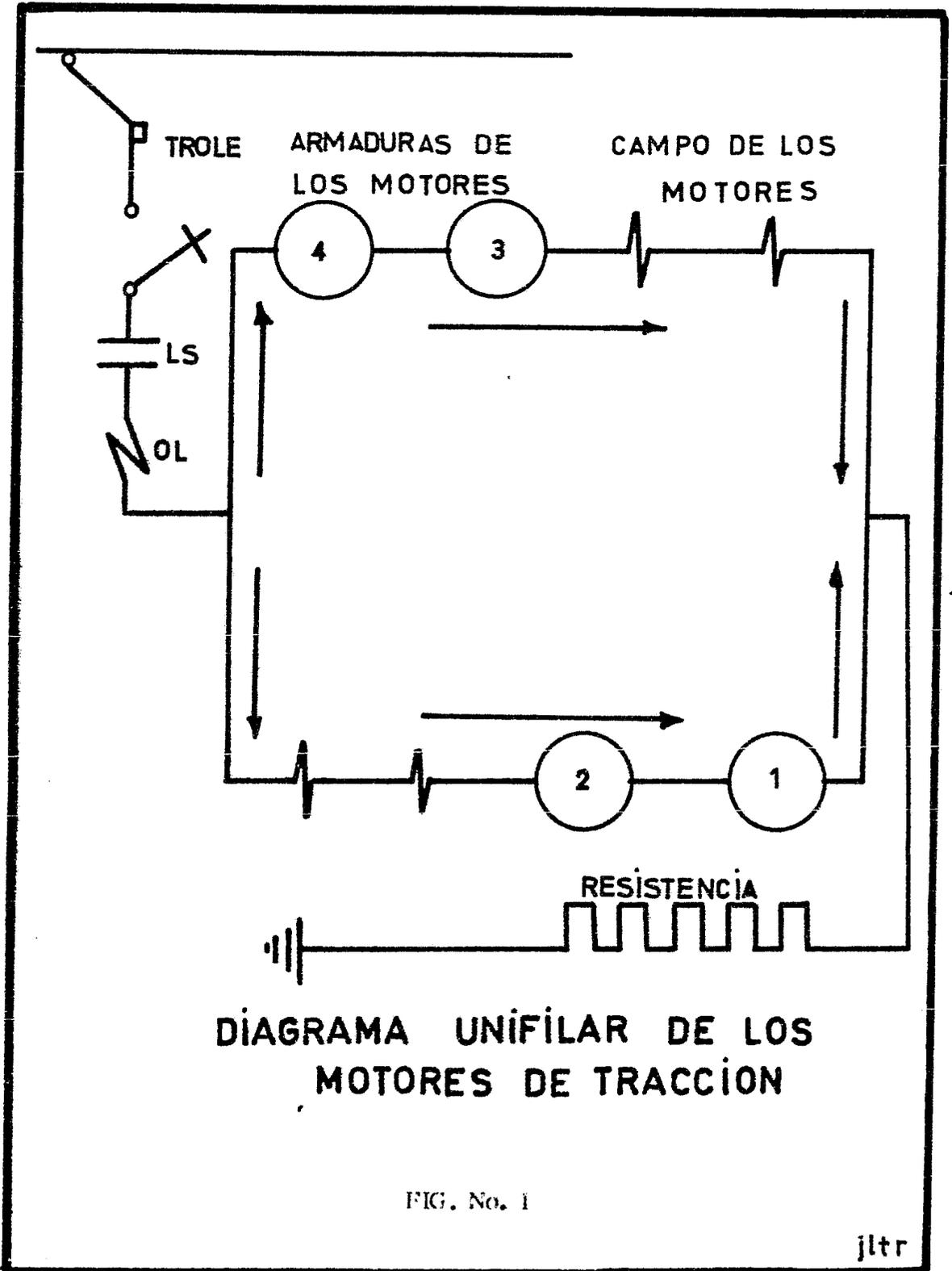


DIAGRAMA UNIFILAR DE LOS MOTORES DE TRACCION

FIG. No. 1

jltr

# INTERRUPTOR DE LINEA

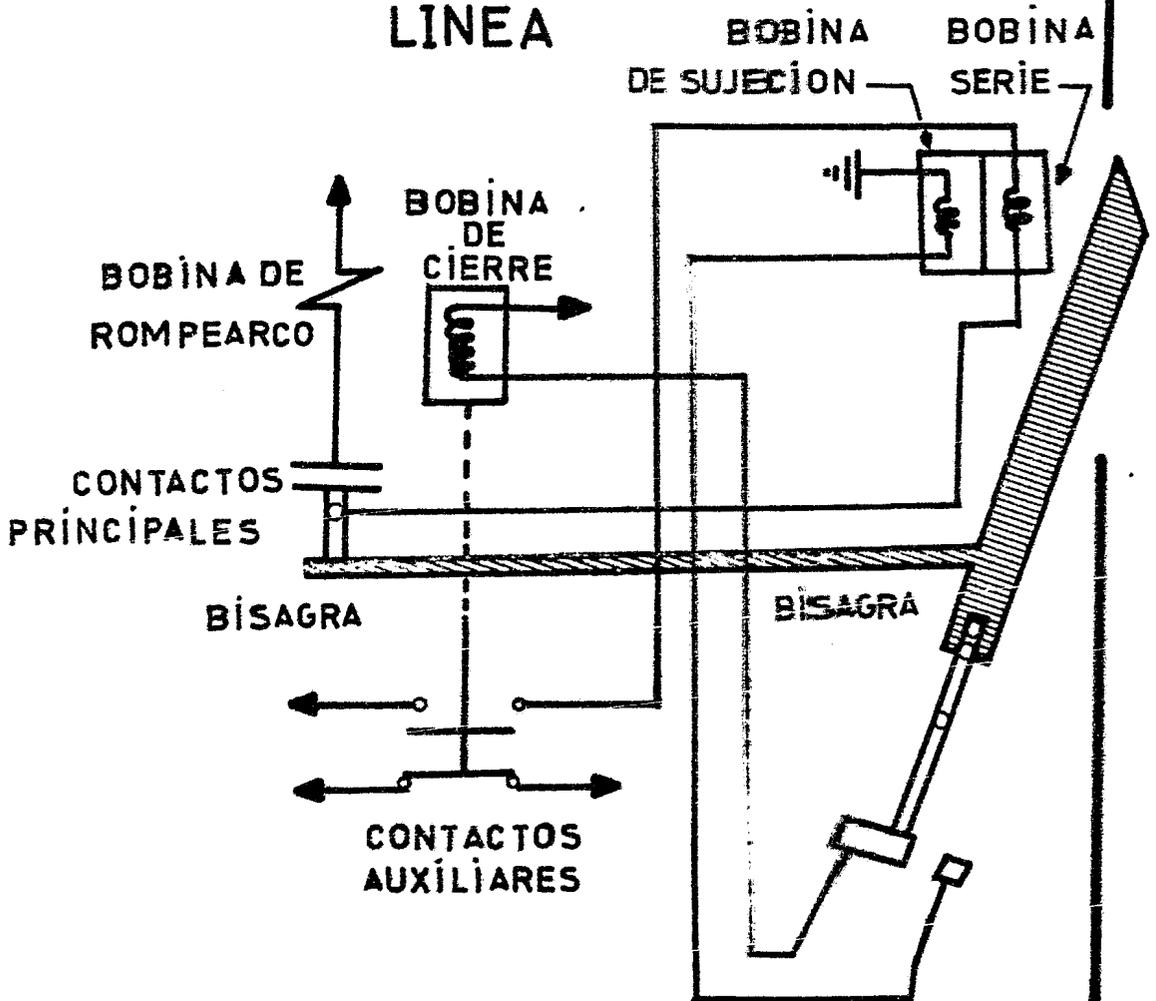
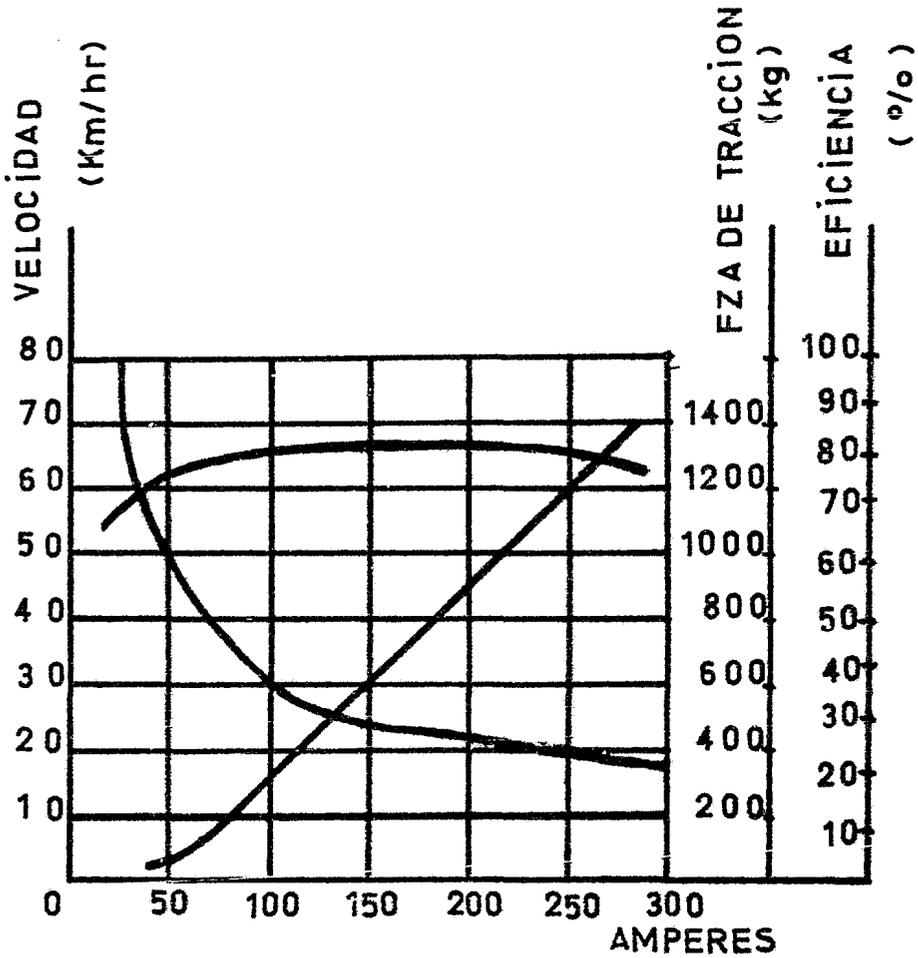


Fig. num. 2



CURVA CARACTERÍSTICA DE  
UN MOTOR DE TRACCION DE  
TRANVIA

FIG. No. 3

jltr

Cuando alguno de los motores sufre algún desperfecto durante el recorrido, puede eliminarse un juego de motores ya sea delantero o trasero, esto se logra mediante el interruptor de corte; este consiste, de un cilindro macizo de madera de "maple" con segmento de cobre que están en contacto con unos (dedos estacionarios) de tal manera que al girar el cilindro cierran o abren los circuitos necesarios. Cuando el interruptor de corte se mueve hacia la izquierda, los motores número 3 y 4 se desconectan, y si se mueve a la derecha se desconectarán los motores 1 y 2 como se muestra en la figura #4.

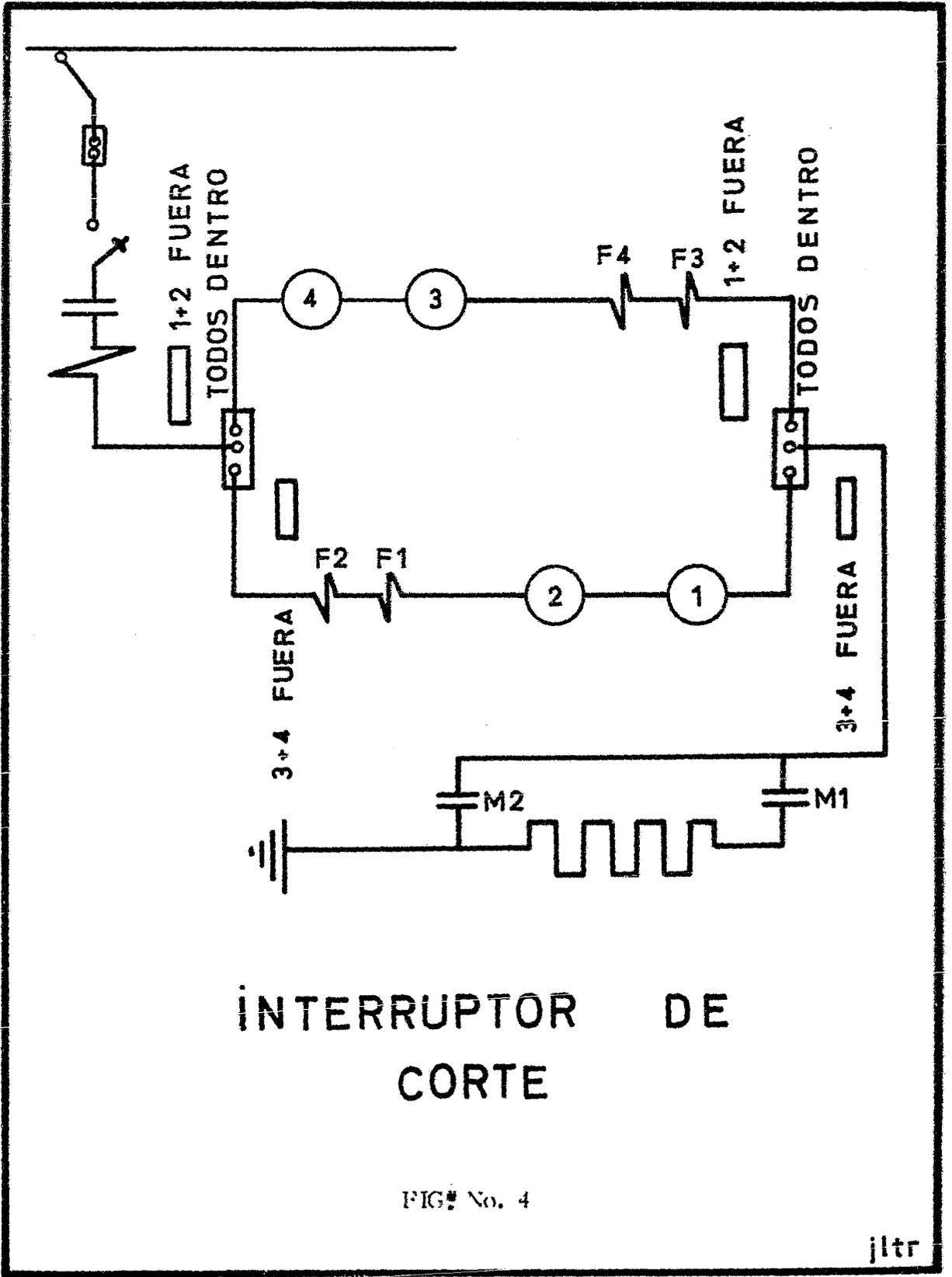
Por ejemplo, cuando se desconectan los motores 3 y 4 por avería sucederá lo siguiente: que los "dedos" de los interruptores auxiliares (INTERLOCKS) 6A a 6B y 6 a L1, conectan el circuito para la bobina de posición del relevador del límite durante la carrera libre. Los dedos de los interruptores auxiliares (INTERLOCKS) M 11 a 6A y M1 a 6 se usan para controlar la velocidad del tranvía cuando la bobina serie del relevador del límite está fuera del circuito, esto ocurre cuando los motores 3 y 4 se desconectan, esto se ilustra en la figura #5.

Cabe hacerse notar que cuando un grupo de motores se desconectan no se tiene frenado dinámico puesto que se elimina durante esta operación, y los dos motores restantes con que opera el tranvía están sobrecargados.

De la figura #4 observamos también que los contactores M1 y M2 pueden conectar o desconectar la resistencia mostrada en dicha figura. El tipo de contactores que utilizan los tranvías, son UMK estos tienen la función de abrir o cerrar los circuitos de frecuencia. Estos constan de una bobina de cierre o rompearco, que es la encargada de operar la armadura del contactor, así como los contactos auxiliares interconectados (INTERLOCKS). La bobina de cierre del contactor R1 opera a un alto voltaje (600 Volts), todos los demás están operados con el voltaje de la batería. La bobina de apagado produce un campo magnético que dirige el arco (cuando se abren los contactos) hacia afuera, hasta extinguirlo.

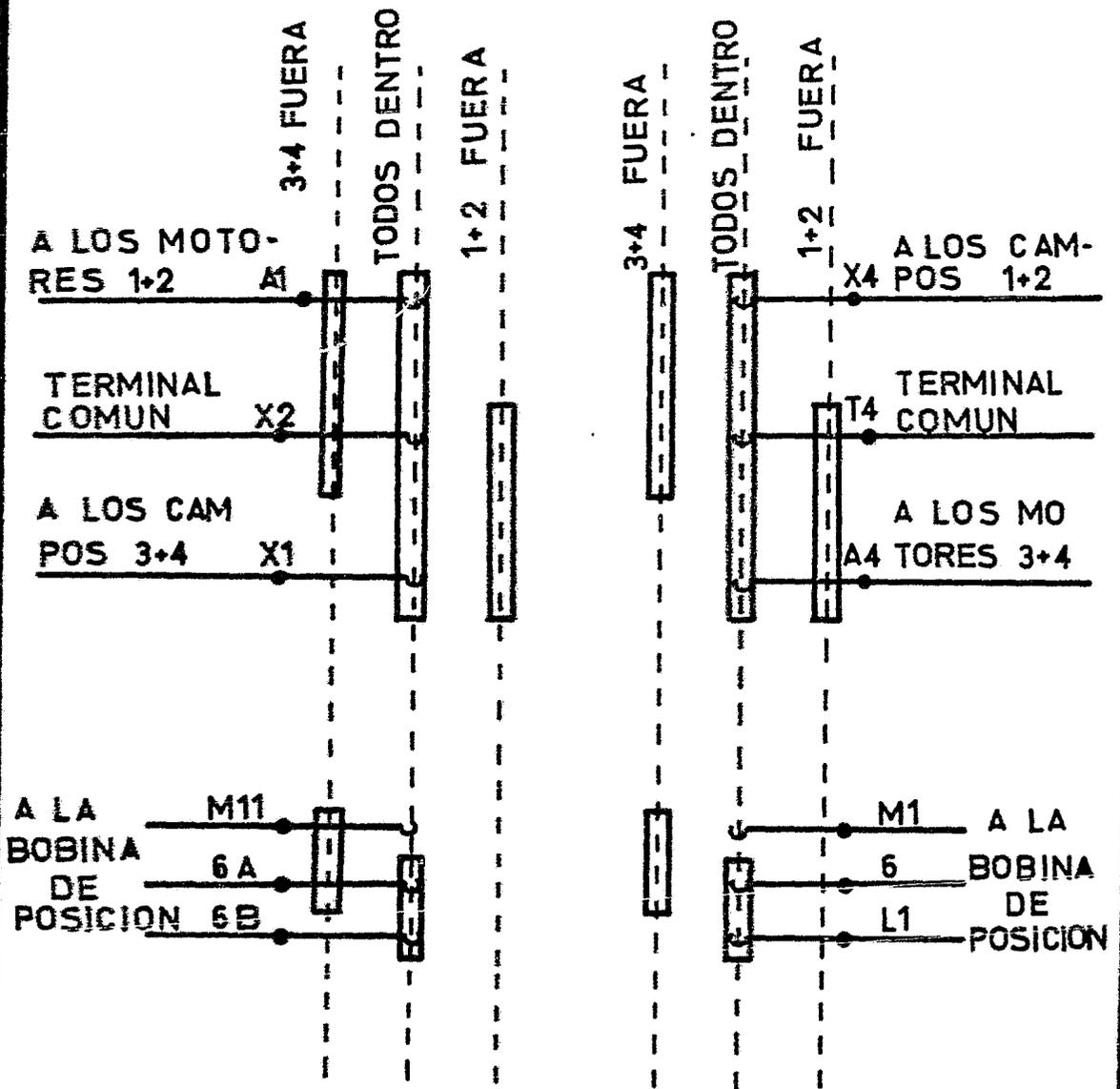
Los contactos auxiliares están conectados a la armadura móvil por medio de un brazo articulado el cual permite el movimiento ascendente y descendente de dichos contactos. Los contactores R1, R2, M1 y M2 se usan en la aceleración para cortar resistencia. Los contactores F1, F2, F3 y F4 son los que conectan o desconectan los campos en derivación de los motores, y los contactores B1 y B2 se usan para conectar los motores a la resistencia del acelerador durante el frenado dinámico.

Un diagrama de este tipo de contactores es el que se muestra en la figura #6.



# INTERRUPTOR DE CORTE

FIG# No. 4



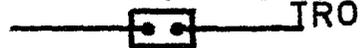
# INTERRUPTOR PARA CORTAR MOTORES

EN FORMA ESQUEMATICA

MCO 3+4 FUERA



MCO TODOS DENTRO



# CONTACTORES

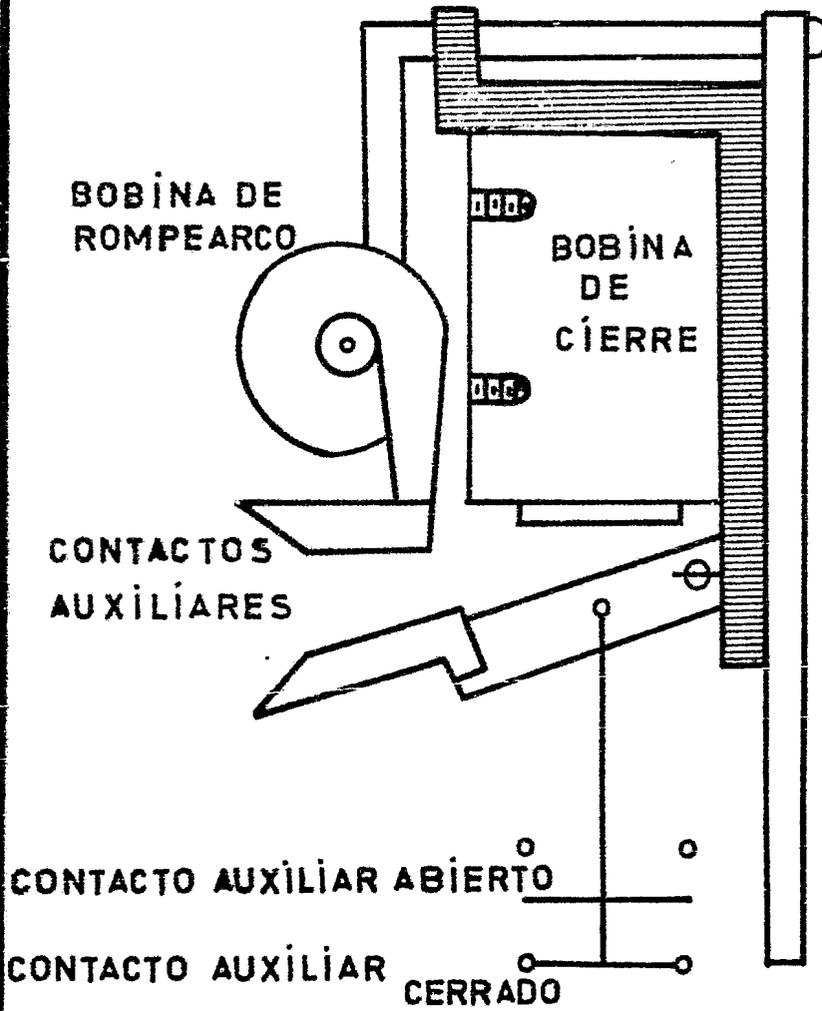


FIG. No. 6

La resistencia en serie con el circuito de los motores, no es realmente fija, sino que es variable para lograr el control de la velocidad de los motores y por lo tanto la del tranvía. Es operada con un motor piloto -- que es alimentada por las baterías y mueve un mecanismo giratorio con ruedas de "micarta" en sus extremos y éstas son las que cierran a su paso los diferentes contactos del reóstato.

A éste conjunto anteriormente descrito se le conoce como acelerador y se describirá como sigue:

Es un cilindro que tiene periféricamente dos segmentos de resistencia cada una de las cuales ocupa poco menos de una semicircunferencia y las dos resistencias están derivadas en 99 segmentos.

Los segmentos están conectados a un contacto movable, cada uno de los cuales cierra su circuito cuando es presionado al paso de una de las ruedas diametralmente dispuestas del brazo giratorio (figura #6').

Este circuito se cierra a través de un Bus circular que es donde pisan los contactos.

La parte giratoria está acoplada a un tambor de levas que al girar todo el conjunto operan los contactos del circuito de control, que posteriormente describiremos.

Estos contactos se representan en los diagramas como el de la figura #7 y significa que permanecen cerrados durante 1-97. El acelerador se puede representar eléctricamente mediante el diagrama de la figura #7.

Intercalando a la figura #4 el acelerador, y las resistencias R1 y R2 -- con sus contactores respectivos así como la bobina del R1 (alto voltaje) se obtiene la figura #8.

Las resistencias R1 y R2 únicamente se utilizan durante el arranque, y son puenteadas sucesivamente por medio de los contactos auxiliares -- (INTERLOCKS) del LS que permiten energizar la bobina del R1 y éste a su vez al cerrar opera los contactos auxiliares de la bobina R2 haciendo operar a éste último.

Para la marcha de reversa del carro, se invierten los campos de los motores por medio de un tambor de reversa que está contenido en el mecanismo principal de control (control maestro) el cual se verá más adelante.

Este tambor de reversa es operado manualmente por medio de una palanca situada en el lado derecho del operador del carro y contiene segmentos de cobre sobre los cuales presionan "los dedos" que hacen cerrar -- los campos de los circuitos de los motores. En la figura #9 se observa su localización. Los segmentos y conexiones de éste tambor de reversa se pueden apreciar en la figura #10.

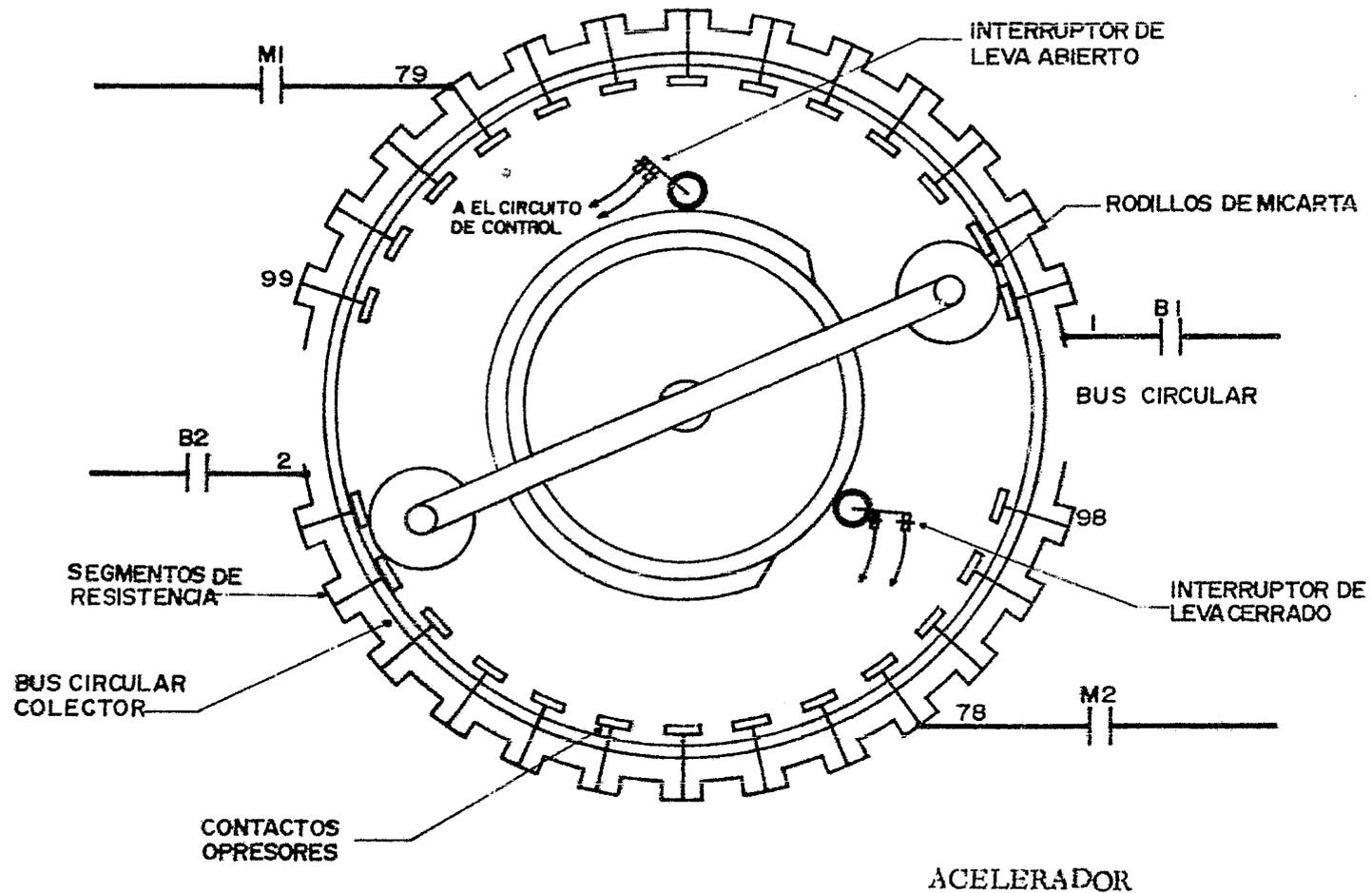
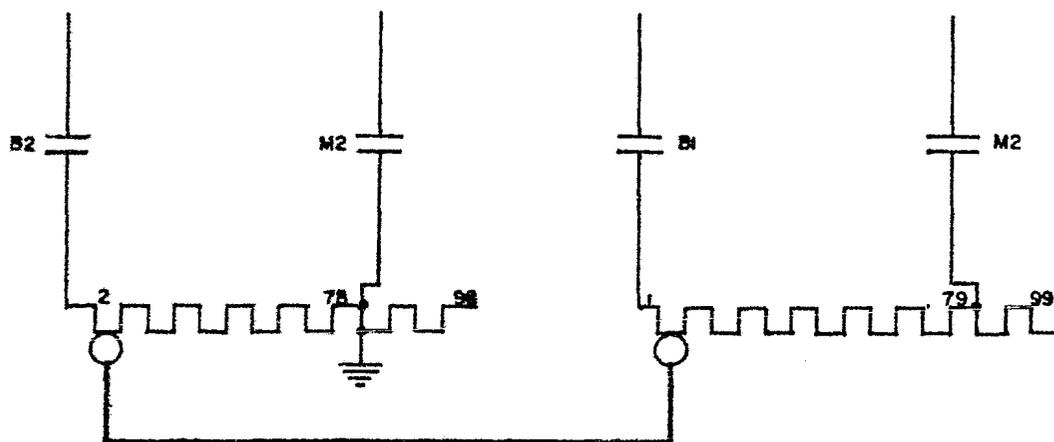


FIG. No. 6'

### REPRESENTACION FIECTRICA DEL ACELERADOR



BUS CIRCULAR  
COLECTOR



FIG: No. 7

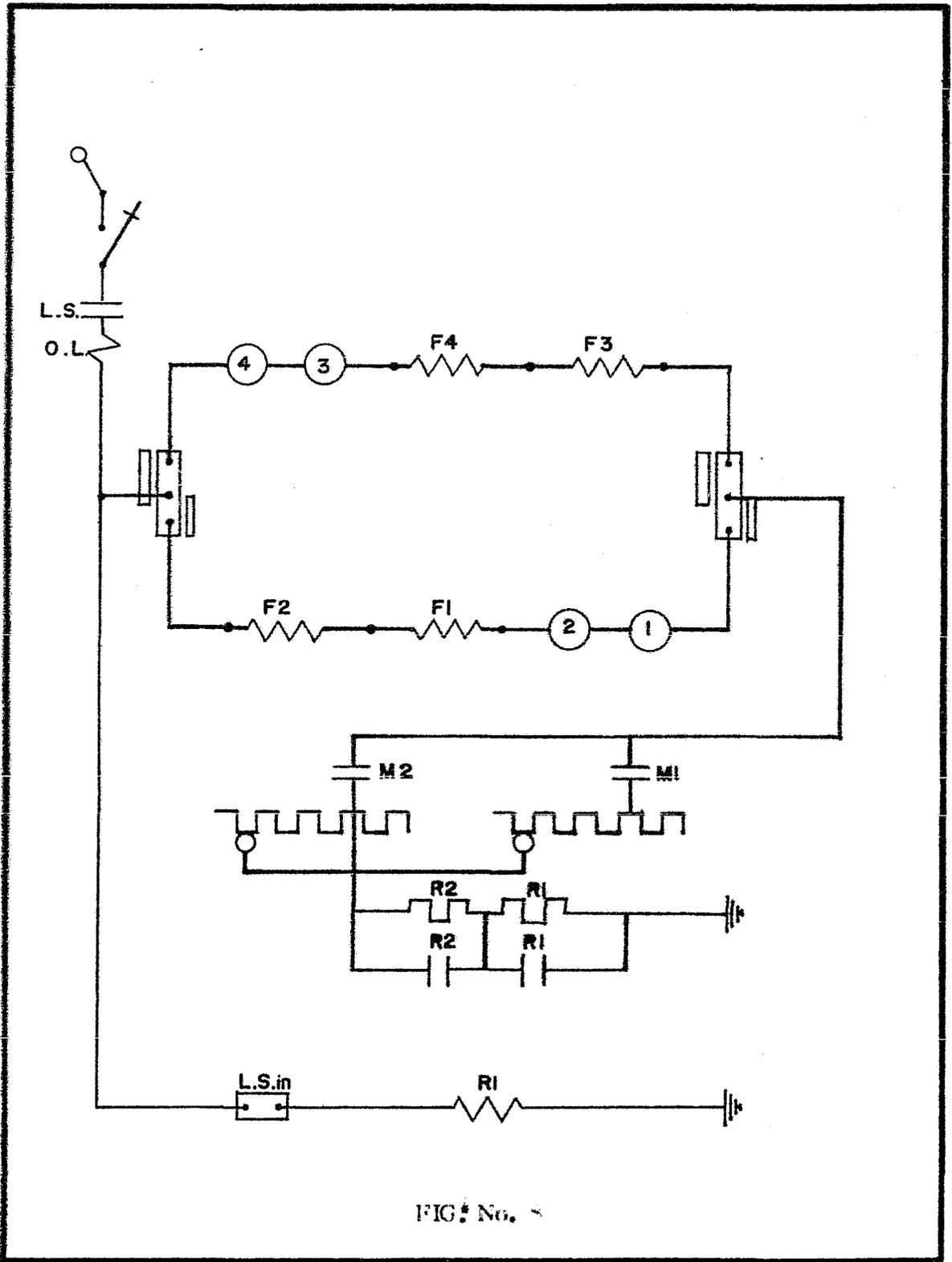


FIG. No. 8

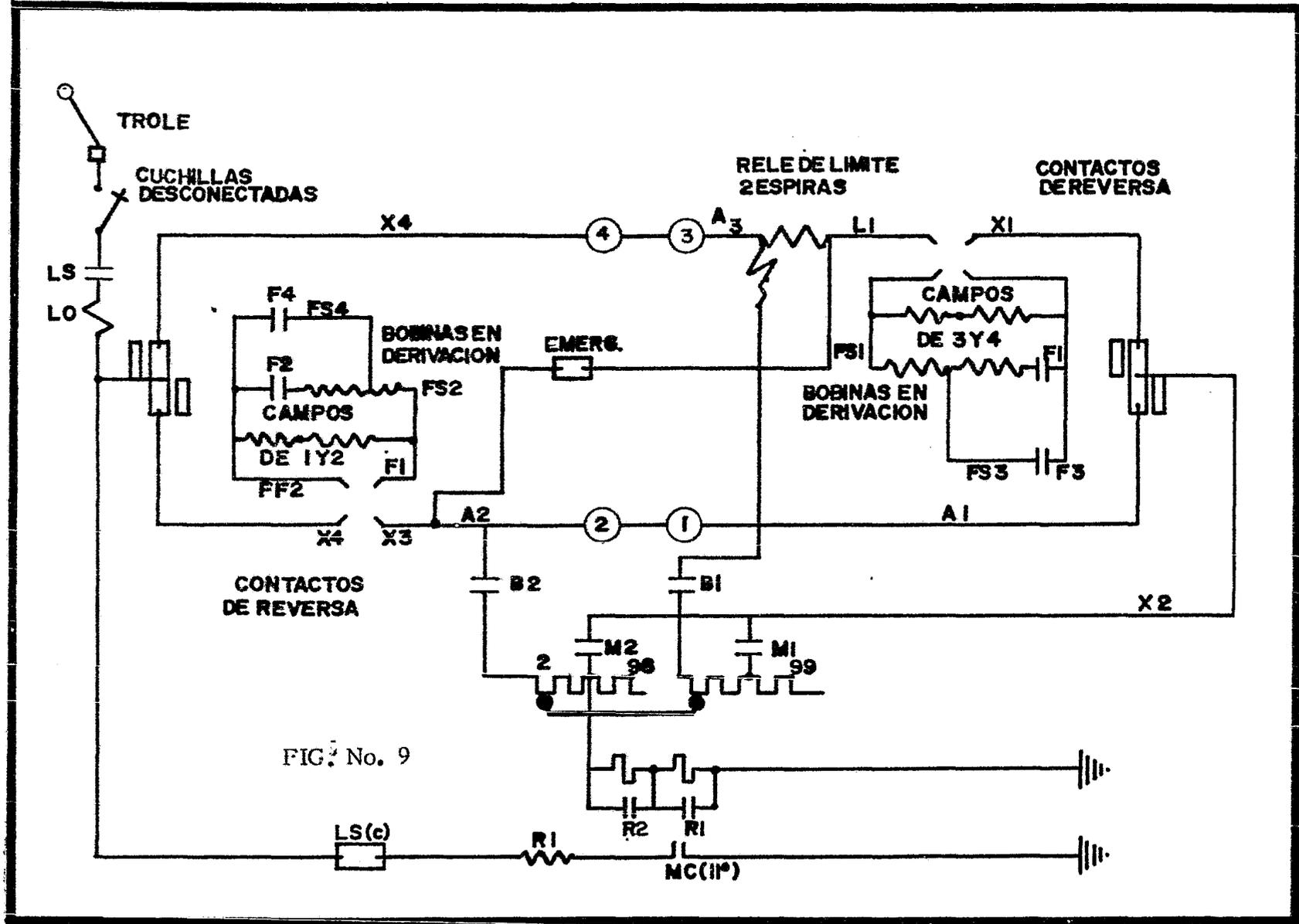


FIG. No. 9

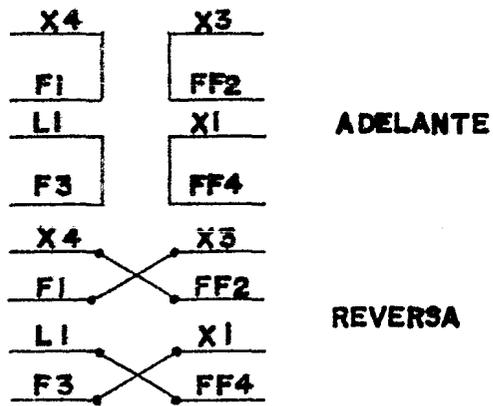
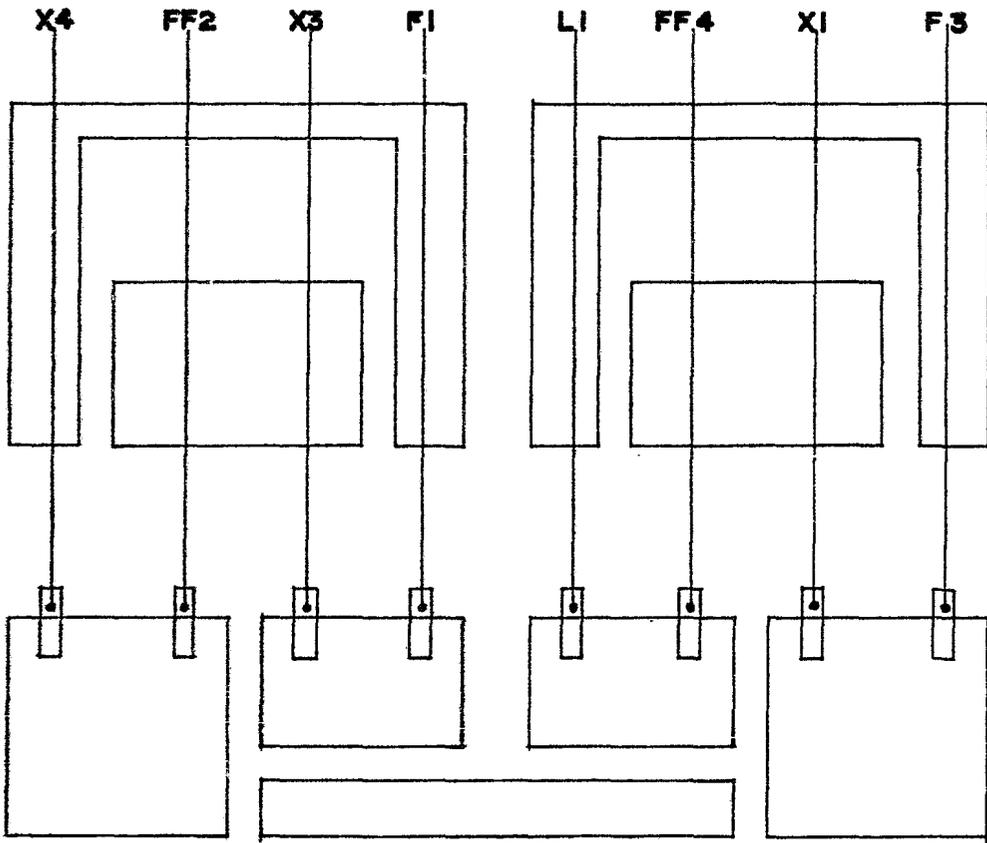


FIG. No. 10

## 2.2. - EL CIRCUITO DE CONTROL

Como se vió anteriormente, el control de velocidad de los tranvías, se logra por medio del reóstato intercalado en serie con los motores de tracción. Este reóstato es movido por medio del motor piloto puesto que consta de un gran número de contactos (99 en total, de los cuales se utilizan 79 en la aceleración y todos en el frenado dinámico); el cual sería difícil moverlo manualmente, ya que la corriente en los motores sería muy irregular.

A su vez, el movimiento y la dirección del motor piloto es controlado por medio de un relevador de límite, sus conexiones son de acuerdo a la figura #11 y su funcionamiento es como se describe a continuación:

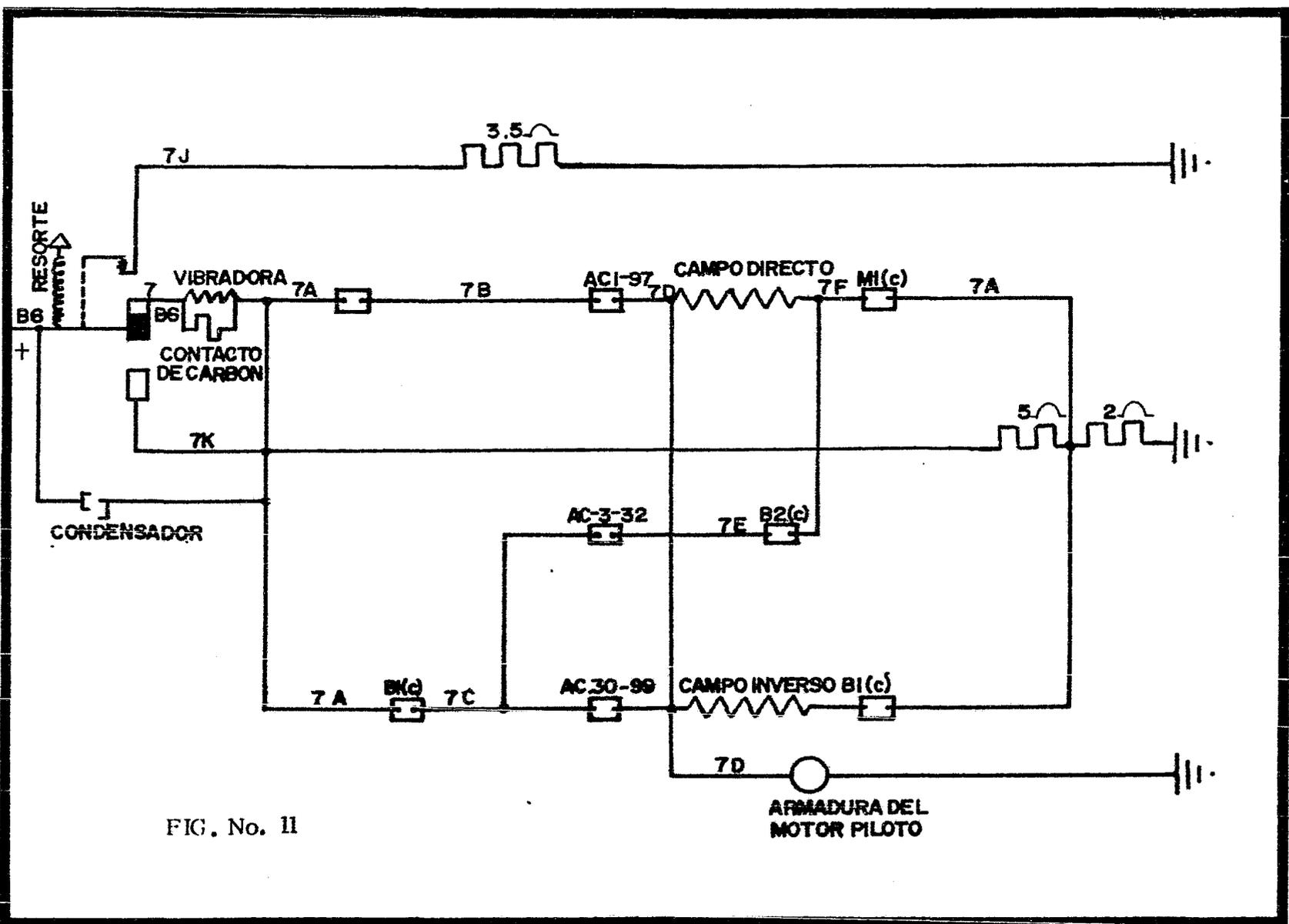
Durante el avance del tranvía la corriente de los motores pasa a través de la bobina principal del relevador de límite que está conectado en serie en el circuito de fuerza motriz de acuerdo con la figura #9 esta bobina consta de dos espiras, y está montada sobre un núcleo fijo de hierro en dicho relevador. Produce un campo magnético proporcional a la corriente de los motores y atrae a una armadura móvil articulada que en su extremo superior tiene un contacto de carbón B6 (figura #11), el cual opera entre dos contactos estacionarios de plata el 7 y el 7K respectivamente, según si la tensión del resorte del relevador (opuesto a la fuerza de atracción de la bobina) sea mayor que la fuerza debida a los amperes vuelta o viceversa.

Por otro lado, el resorte del relevador produce una tensión proporcional a la aceleración requerida para el conductor del tranvía, al oprimir el pedal de aceleración, ya que dicho resorte está conectado mecánicamente al pedal por medio de una excéntrica del control maestro. De esta manera durante el avance el acelerador irá eliminando resistencia del circuito logrando que la velocidad de los motores aumente, compensando la fuerza Contraelectromotriz de los motores y manteniendo una corriente practicamente constante.

En plena opresión del pedal del acelerador el resorte del relevador de límite está ajustado para que la tensión de este sea vencida por la fuerza debida al campo Magnético de la bobina al llegar este a un valor de 720 Amperes-Vuelta, desconectando así el circuito del campo directo del motor piloto, al desplazarse el contacto B6 del 7 al 7K, y haciendo operar en sentido contrario al motor piloto por medio del campo inverso, hasta que la corriente en los motores disminuya y la tensión del resorte supere los amperes-vuelta haciendo regresar el contacto a su posición original.

Para evitar un desplazamiento excesivo en el pedal del acelerador, debida a la inercia del motor y el engranaje, cuando los contactos del relevador se abren, en un principio se utilizo el freno magnético pero debido al alto mantenimiento de éste se sustituyó por el efecto que produce la bobina vibradora y el relevador de límite.

Esta bobina está montada en el mismo núcleo de hierro de la bobina principal del relevador, reforzando el campo magnético al energizarse cuando la corriente pasa a través del contacto 7 (Ver fig. #11 ).



Al reforzarse el campo magnético aumenta la fuerza de atracción de la armadura y vence momentáneamente la tensión del resorte, abandonando el contacto B6 al 7. Al separarse este último (sin llegar a hacer contacto con el 7K) se desenergiza la bobina vibradora disminuye el campo y el resorte vuelve a regresar a la armadura a la posición original y así sucesivamente produciendo una corriente pulsatoria en el motor piloto; que da por resultado un desplazamiento mas uniforme y preciso del reóstato.<sup>3</sup>

El campo directo hace girar el motor piloto en la dirección creciente del acelerador ( de la posición 1 a la 99 ) y el inverso a la decreciente ( 99-1 ).<sup>4</sup>

El circuito del relevador y motor piloto durante la aceleración del tranvía opera como sigue:

Del contacto móvil B6 al 7, a la bobina vibradora al cable 7A, a través del contacto auxiliar; ( Interlock ) R1 ( C ), al cable 7B, pasando por el contacto auxiliar AC-1-97.<sup>3</sup> Este contacto pertenece al interruptor de leva del acelerador ( figura # 6' ) y permanece cerrado durante la aceleración de la posición 1-97.

En el cruce 7D el circuito se ramifica y una parte de la corriente circula a través del campo directo; en el cable 7F el contacto auxiliar M-1 ( C ) y a tierra, y a través de una resistencia de 2 Ohms. La otra parte de la corriente circula hacia tierra a través de la armadura del motor piloto.<sup>3</sup>

El circuito durante el frenado es como sigue:

El contacto móvil B6 a la bobina vibradora, al cable 7A, al contacto auxiliar B-1 ( C ) al cable 7C al contacto auxiliar del motor de leva del acelerador, AC-30-99 y al cable 7D. El circuito se ramifica y una parte de la corriente circula a través del campo inverso, al contacto auxiliar B-1 ( C ), y a tierra, a través de una resistencia de 2 Ohms.<sup>3</sup>

La otra parte del circuito consiste en la armadura del motor piloto cerrándose por tierra.<sup>3</sup>

El motor sigue desacelerando (carrera decreciente del acelerador) hasta que la leva del acelerador abre en 30 al contacto auxiliar AC-30-99 y ya para eso, otro contacto auxiliar AC-3-32 cierra en la posición 32 por medio de la leva cerrando el circuito con el cable 7E a través del contacto B2 (C); pasando a través del campo directo pero con la conexión invertida, luego a través de 7D en donde se ramifica el circuito, una parte consiste en el campo inverso al contacto B1 (C) hacia tierra y la otra rama del circuito consiste en la armadura del motor piloto hacia afuera o tierra.

En esta forma, los campos directo e inverso quedan conectados en serie entre sí pero con la misma polaridad reforzando el flujo del campo y por lo tanto disminuyendo la velocidad del motor piloto de las posiciones 30-1, cuando la corriente en los motores aumenta lo suficiente para que la bobina del relevador supere la tensión del resorte y el contacto móvil se desplace hacia el estacionario 7K, la corriente circulará en dirección contraria a través del campo que esté al ser usado hace girar el motor piloto en dirección opuesta hasta que el contacto o relevador vuelva a la posición original.

El condensador conectado en derivación con la bobina vibratora tiene por objeto disminuir el arco que se produce cuando los contactos se separan.

Cuando el relevador de límite, opera por medio de la bobina, cierra el contacto móvil con el 7K, la corriente en el campo se invierte y el motor frenará para después girar en sentido contrario.

Con el objeto de que la corriente en ese momento, no tome un valor elevado; se emplea un contacto de resorte montado sobre el elemento móvil del relevador, el cual deriva la corriente hacia tierra a través de una resistencia de 3.5 Ohms.

Finalmente, el relevador de límite contiene en su núcleo una tercera bobina llamada de "posición" la cual sustituye a la bobina serie del relevador.

Cuando el tranvía opera sólo con los motores 1 y 2 (cuando 3 y 4 están fuera): La bobina de posición es en éste caso, es energizada por la caída de voltaje producida en un segmento del reóstato (ver figura #12) en donde es intercalada por medio de los contactos auxiliares -- MC 3 y 4 desconectados produciendo un flujo magnético en el núcleo del relevador proporcional a la corriente del par de motores 1 y 2.

Una segunda función tiene la bobina de posición, esto ocurre cuando el tranvía se encuentra en "Carrera Libre", es decir, el LS abierto, así como los M1, M2, R1 y R2.

Consiste en regular la magnitud de la resistencia necesaria que debe de ser intercalada al circuito para volver a aplicar el pedal del acelerador o el de frenos.

Esto se logra intercalando al acircuito la bobina mencionada, a través de las terminales de los campos de los motores 3 y 4 (ver figura #12; al cerrar los contactos auxiliares:

MC- todos conectados, BC (A), M2 (A), F2 (C), operando en sentido-opuesto a la bobina serie y de frenado dinámico con el fin de evitar el regreso del motor piloto y del reóstato a las primeras posiciones seleccionando de ésta manera la posición correcta en que debe mantenerse éste último.

## 2.2.1.- EL CONTROL MAESTRO

Una de las partes esenciales del sistema de control de los tranvías

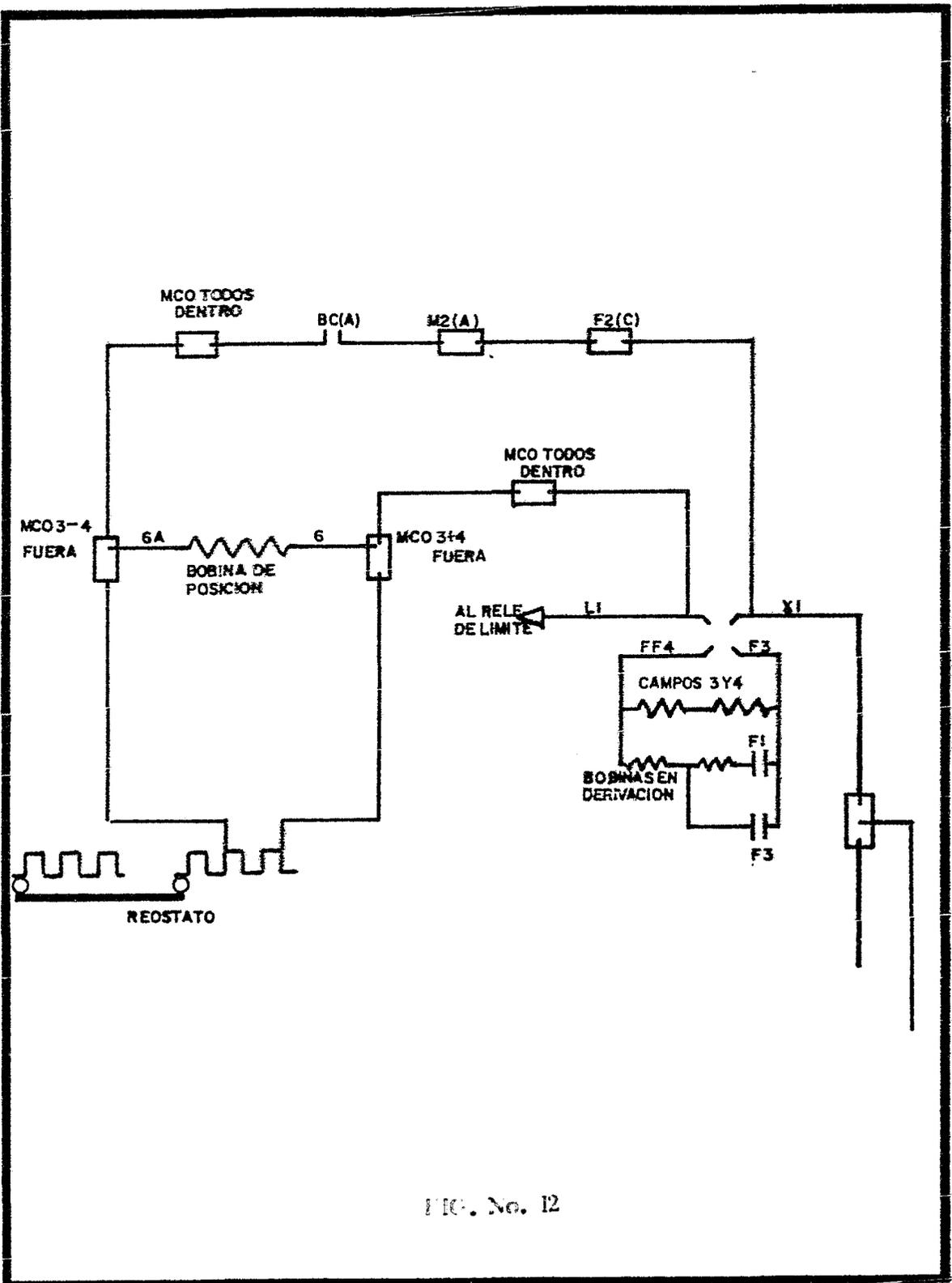


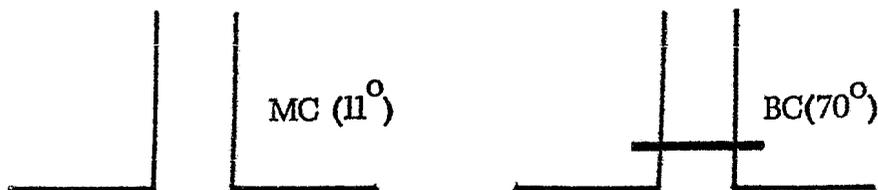
FIG. No. 12

es el control maestro.<sup>2</sup> Este mecanismo es el que cierra o abre los -- contactos usados durante la aceleración y frenado, de acuerdo con la posición de los pedales respectivos.

Consta de tres tambores (aceleración, frenado y reversa), los dos primeros tienen un sistema de levas que hacen operar los interruptores de acuerdo a su posición respectivamente movidas angularmente por medio de su excéntrica que a su vez está conectada a cada pedal, de tal manera que para cada posición del pedal que se está oprimiendo -- corresponde un ángulo de giro del cilindro y por lo tanto ciertos contactos estarán abiertos y otros cerrados en dicha posición, según la secuencia de cierre de los contactos de levas.<sup>2</sup>

Por otro lado, cada uno de los dos tambores está conectado a otro mecanismo que tiene una excéntrica común,<sup>3</sup> la cual a su vez está unida -- al resorte del relevador de límite y por lo tanto gradúa la tensión de -- este, según el desplazamiento angular de cada tambor.<sup>3</sup>

Los contactos que son operados por el control maestro, se pueden identificar en los circuitos generales de control, en donde además, está marcado el ángulo de giro en el cual se cierra o se abre dicho contacto, por ejemplo:



Tambor de Aceleración ----- MC  
Tambor de Frenado ----- BC

El control maestro contiene también el tambor para la marcha en reversa, el cual es operado por medio de una palanca manual de trinquete y la disposición de este tambor ya ha sido descrita anteriormente. (ver figura # 10).<sup>2</sup>

## 2.2.2. - EL GRUPO MOTOR GENERADOR

Los tranvías están dotados de un grupo M-G que se encarga de cargar las baterías y éstas a su vez, proporcionan la energía eléctrica necesaria para operar los aparatos de control.<sup>2</sup>

El motor está conectado directamente entre el trole y tierra a través del contactor M-G. La bobina que opera dicho contactor se puede observar en la figura #13<sup>1</sup> y se energiza al cerrar el interruptor general del circuito del generador ya que la bobina del contactor RC (figura #13) está en derivación con la armadura del motor a través de una resistencia de 1000 Ohms.<sup>2</sup>

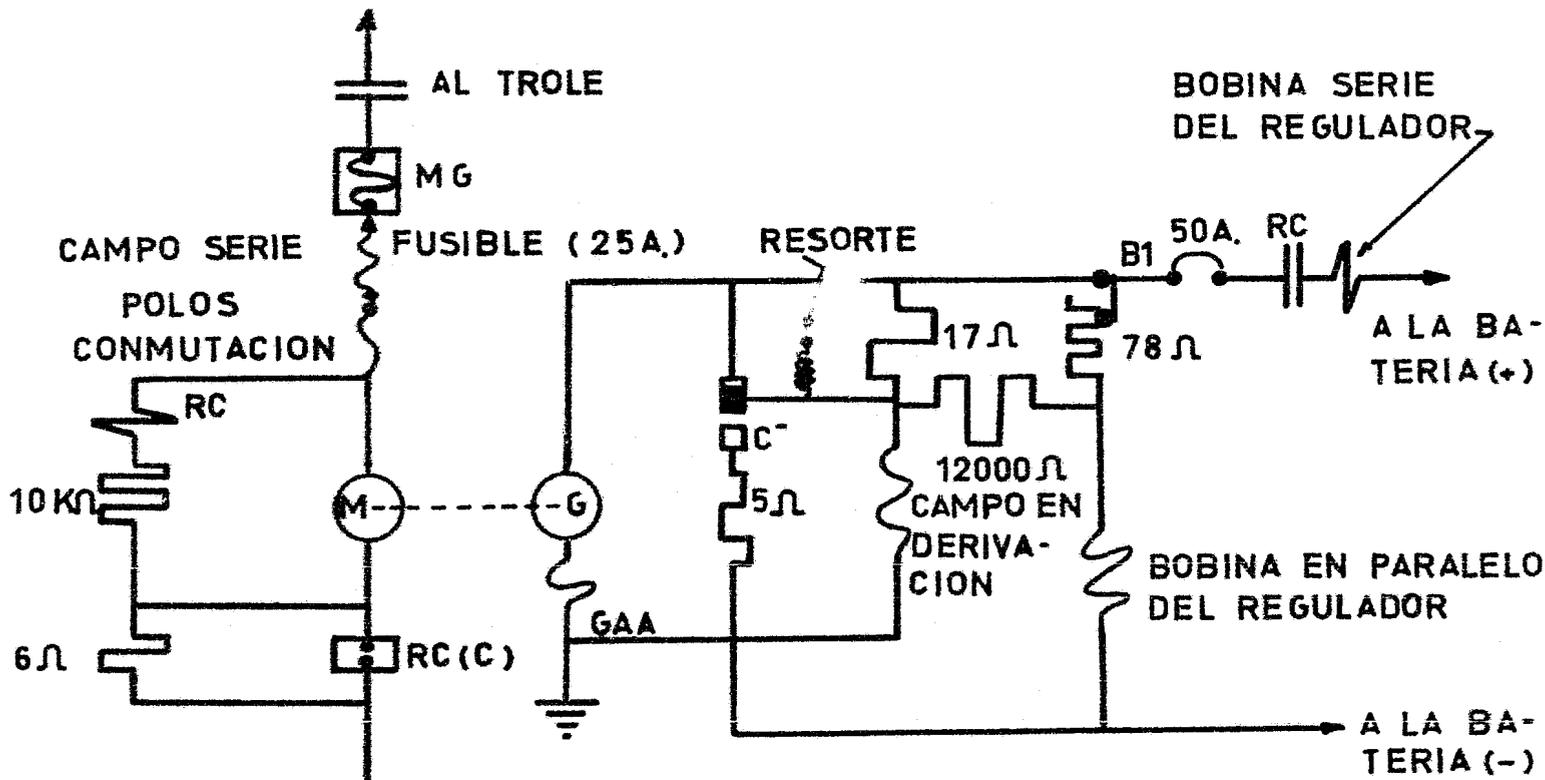
Con el objeto de reducir la corriente de arranque del motor, se intercala una resistencia en serie con éste, la cual se elimina una vez que ha disparado el contactor RC por medio de un interruptor auxiliar.<sup>3</sup>

El generador está conectado a las baterías a través de un regulador de voltaje y de corriente, cuyas conexiones se pueden apreciar en la figura #13.<sup>4</sup>

El regulador trabaja en forma similar al relevador de límite y está compuesto por un contacto de carbón móvil, que opera entre dos estacionarios.<sup>5</sup> El contacto móvil está montado sobre una armadura articulada, la cual es atraída por el campo magnético producida por la bobina en derivación y serie del regulador en oposición a la tensión de un resorte.

Cuando hay un incremento de voltaje en la línea (trole y tierra) o una disminución de carga en el generador, trae como consecuencia mayor velocidad del motor (grupo M-G) y por lo tanto, mayor voltaje entre las terminales del generador; como la bobina que regula este voltaje está conectado en derivación con la armadura del generador a través de una resistencia ajustable, al subir el voltaje generado se elevará la fuerza de atracción de la bobina y sobrepasará la tensión del resorte haciendo contacto el móvil con el estacionario inferior C (ver figura #13) por lo tanto derivando el campo del generador por medio de la resistencia de 5 Ohms haciendo disminuir por consiguiente, el flujo y el voltaje generado.

El resorte se puede ajustar por medio de un tornillo, para determinar el voltaje, la bobina en serie del regulador opera en forma similar y es la que limita el valor de la corriente de carga de las baterías.



GRUPO M-G CON REGULADOR DE VOLTAJE.

FIG. No. 13

El resorte se puede ajustar por medio de un tornillo, para determinado voltaje, la bobina en serie del regulador opera en forma similar - y es la que limita el valor de la corriente de carga de las baterías.

En la misma flecha del M-G están montados dos ventiladores que proporcionan la cantidad de aire necesario para el enfriamiento del equipo de control, como son, resistencias, bobinas, M-G, así como los motores de tracción, etc.

El flujo de aire producido por los ventiladores, es llevado por ductos con dos ramificaciones cada uno, delantero y trasero, para el enfriamiento de los motores de tracción.

Las otras derivaciones son para el enfriamiento del acelerador (Reóstato) y resistencias de arranque. Aunque en climas muy fríos, los tranvías tienen compuertas en los ductos de ventilación, por medio de los cuales se puede aprovechar la corriente de aire caliente para la calefacción interior del tranvía, pero como en nuestro México el invierno no es muy riguroso, los ductos desembocan directamente al exterior, por medio de rejillas laterales.

### 2.2.3. -FUNCIONAMIENTO DURANTE LA ACELERACION

Una vez que se han descrito los principales circuitos de fuerza motriz y de control utilizados durante la aceleración, a continuación se procederá a describir el funcionamiento de conjunto durante el avance del tranvía.

Estando conectado el trole a la línea elevada, así como el interruptor de cuchillas de este, se pone en marcha el circuito de control y el M-G cerrando el interruptor general situado en el tablero del operador.

Se oprime el pedal del acelerador y cuando el tambor (aceleración) de control maestro ha girado 11 grados a partir del punto inicial se cierra el interruptor de levas MC (11º) figura # 9.

Se sigue oprimiendo el pedal hasta que dicho tambor cierra la leva

MC (13<sup>0</sup>) figura #13' energizando la bobina LS, ya que el interruptor auxiliar B2 (A) y la leva BC (A) (que pertenecen al circuito de frenado) permanecen cerrados durante la aceleración. Esta es una medida de protección, ya que si no están quitados, el pedal de freno y la palanca de "estacionado", el carro no arrancará.

Una vez energizada la bobina LS, opera la bobina R1 puesto que el interruptor auxiliar LS, opera la bobina R1 puesto que el interruptor auxiliar LS está en serie con ésta última.

A su vez, el interruptor auxiliar de R1 está en serie con la bobina R2, al cerrar al primero, hace operar casi instantáneamente a R2; de esta manera quedan eliminadas las resistencias R y R2 que sólo funcionan durante el primer instante de arranque para reducir la corriente en los motores figuras #9 y #13'.

Para esto, ya está cerrado el contactor M1, puesto que su bobina está conectada a 5B (figura #13'). En esta situación está intercalado al circuito de fuerza motriz toda la resistencia del acelerador, la cual se va eliminando paulatinamente por medio del motor piloto, controlado este movimiento por el relevador de límite y de esta manera logra un arranque uniforme.

El motor piloto comienza a eliminar resistencia del circuito, puesto que al cerrar R1 conecta su interruptor auxiliar R1 (C) y el contacto de leva del acelerador, AC.1-97 permanece cerrado durante estas posiciones.

Si el pedal acelerador sigue oprimido, el tranvía adquiere cierta velocidad hasta que el reóstato llega a la posición 75, en el cual, la leva del acelerador "AC, 75-99" cierra y hace disparar el contactor M2 (figura #13') quedando los cuatro motores de tracción conectados directamente a la línea.

En ese punto, termina el control de la velocidad del tranvía por medio del reóstato intercalado en serie, independientemente de que el motor piloto sigue su marcha ascendente hasta el punto 99 y utiliza toda su resistencia a su regreso para el frenado dinámico.

A partir de la posición 75 si el pedal del acelerador permanece en posición, la velocidad del carro se incrementa conectando en paralelo con el campo serie, las bobinas en derivación, por lo tanto, disminu-

yendo la corriente del campo serie así como el flujo, de acuerdo con la fórmula general:

$$N = \frac{V - I_a R'}{\phi Z'}$$

donde:

$N =$  R. P. M.

$V =$  Voltaje en terminales.

$I_a =$  Corriente de armadura.

$R' =$  Resistencia de armadura, escobillas.

$\phi =$  Flujo total magnético del campo.

pero además también:

$Z =$  Número total de conductores.

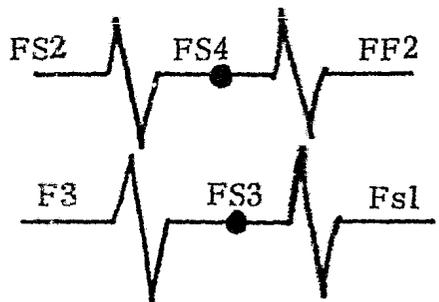
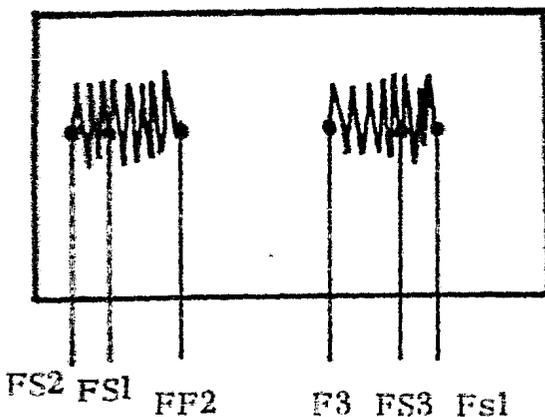
$a =$  Ramas en paralelo de la armadura.

$p =$  Número de polos.

$$Z' = \frac{p \cdot z}{a \cdot 60 \cdot 10^3}$$

Las bobinas en derivación no están devanadas en los mismos motores sino que forman una unidad independiente constando esta unidad de seis arrollamientos sobre un mismo núcleo de hierro, utilizándose tres de ellos para cada par de motores (figura #9) conectadas en la siguiente forma:

**Bobinas en Derivación**



Las bobinas en derivación se van conectando paulatinamente entre -- las posiciones 80 y 95 del reóstato por medio de los interruptores de levas del acelerador, los cuales hacen operar los conectores F1, F2, F3 y F4 (figura #9).

CONTACTOR	INTERRUPTOR DE LEVA	CIERRA EN
F2	AC. 80-99	80
F1	AC. 85-99	85
F3	AC. 90-99	90
F4	AC. 95-99	95

El contactor F2 cierra en la posición mencionada conectando las bobinas FS2-FF2 en derivación con los campos serie de los motores 1 y 2 disminuyendo la corriente en estos últimos y aumentando la velocidad de los motores 1 y 2 que pertenecen al juego de ruedas (truck) delantero.

Poco después cierra el F1 el cual conecta las bobinas en derivación - F3-FS1 incrementando la velocidad en los motores 3 y 4.

El escalonamiento de cierre de los contactores para conectar las bobinas en derivación, esto es que F2 y F1, cierran en 80 y en 85 respectivamente, tiene por objeto lograr un cambio de velocidad del tranvía más uniforme ya que primero se incrementa la velocidad en los motores delanteros y se supone que las ruedas delanteras no resbalan y aumentará la velocidad del tranvía más suavemente que si se conectaran los dos contactores al mismo tiempo.

Para llegar a la máxima velocidad del tranvía, en 90 y 95 cierran los contactos de leva del acelerador " AC.90-99 " y " AC. 95-99 " haciendo operar los contactores F3 y F4 respectivamente, puenteando de esta manera las bobinas FS3 - F3 y FS4 - FF2, lo cual trae como consecuencia una disminución de la corriente en el campo serie y por lo tanto aumento en la velocidad de los motores.

## 2.4.- FRENOS

Los tranvías, están dotados de varios tipos de frenos con el objeto de lograr la máxima eficiencia y suavidad durante esta operación del movimiento del carro. Los tres tipos de frenos con que cuenta son:

- a). - Frenado dinámico.
- b). - Frenado electromagnético de balatas.
- c). - Zapatas de vía.

El primero de estos, frenado dinámico, es el que predomina, cuando éste lleva una velocidad considerable (mayor de 7 km / hr ).

El frenado de balata actúa desde la velocidad mencionada hasta el reposo, excepto en paradas enérgicas ( oprimiendo hasta al fondo el pedal de frenos ) durante los cuales actúan todos los frenos al mismo tiempo.

Finalmente, las zapatas electromagnéticas de vía sirven para estacionar el carro y también actúan en casos de emergencia.

### 2.4.1.- FRENADO DINAMICO

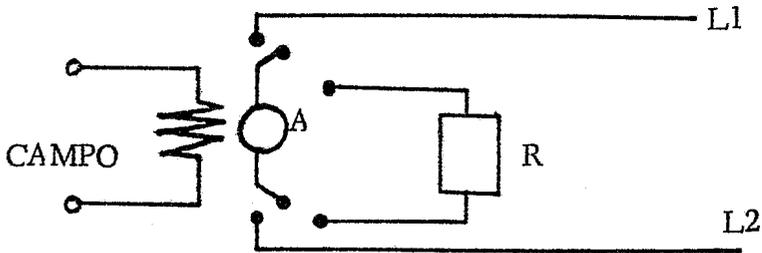
El frenado dinámico es el aprovechamiento de la energía cinética de una carga en carrera libre, que está acoplada mecánicamente a motores de corriente directa y va ser llevado al reposo, haciendo actuar dichos mototres como generadores, los cuales son movidos por la misma carga " inercia ", conectando una resistencia entre las terminales de éstos.

Este tipo de frenado se aplica con ventaja en el servicio de tracción con máquinas de D.C. como son en locomotoras eléctricas, tranvías, grúas, elevadores, etc. puesto que prácticamente elimina el uso de tambores de freno y balatas de grandes dimensiones, así como desgaste excesivo de los mismos y deformaciones producidas por el rozamiento.

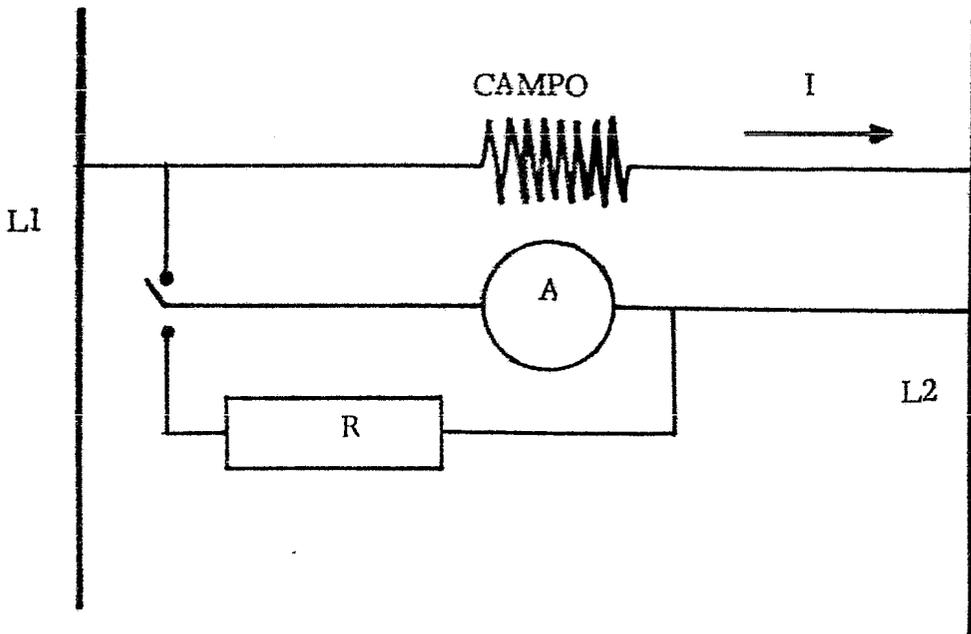
Aunque este tipo de frenado requiere el uso de pequeños tambores de freno, por lo general con zapatas electromagnéticas las cuales

actúan a baja velocidad hasta el reposo de la carga ya que a medida - que disminuye la velocidad en los generadores, disminuye el voltaje - generado y por lo tanto, la corriente de frenado, siendo prácticamen - te nula cuando está a punto de detenerse la carga.

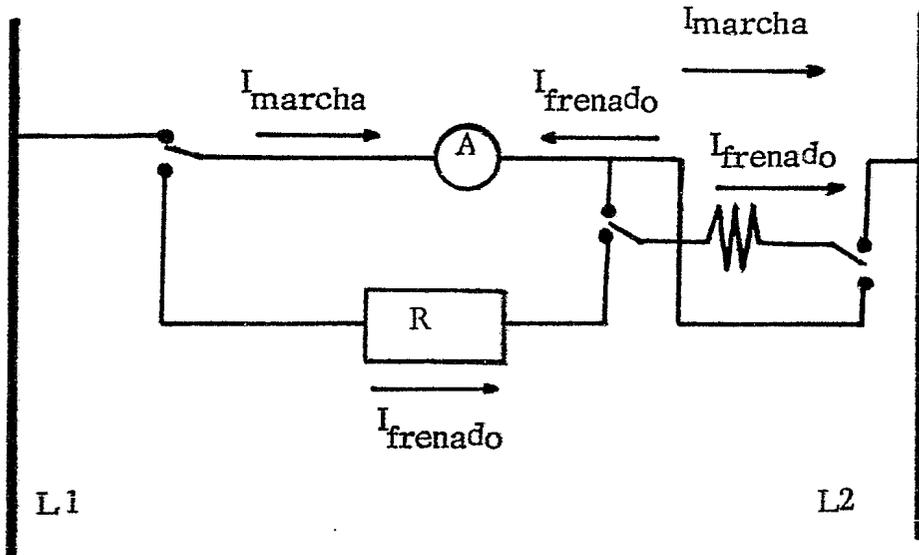
Para lograr el frenado dinámico en motor excitado por separado, se - requiere desconectar la armadura de la línea e intercalar una resis - tencia de carga ( R ) entre las terminales de ésta ( ver figura ).



En los motores con excitación en derivación, el campo queda perma - nentemente conectado a la línea y la armadura desconectada de ésta, - intercalando una resistencia de carga ( R ) ( ver figura ).



En el caso del motor serie es necesario desconectarlo de la línea, - invertir la polaridad relativa entre el campo y la armadura, e intercalar una resistencia de carga en el circuito. El siguiente diagrama muestra las conexiones:



El valor de la corriente  $I$  durante el frenado dinámico, depende de la resistencia de carga y la magnitud de la desaceleración es proporcional a la corriente de frenado. Usualmente se toma:

$$I_{frenado} \quad 1.5 \text{ Normal}$$

y para frenados muy rápidos:

$$I_{frenado} \quad 3 \text{ I Normal}$$

En los tranvías los tres tipos de frenos son operados con un mismo pedal, el cual a medida que se oprime va operando contactos, de acuerdo con la secuencia de cierre de los mismos.

Al soltar el pedal del acelerador, el interruptor de leva (MC-13) abre y desconecta los motores de tracción del circuito al abrir los contactos LS y M1 ( figuras  $\approx 9$  y  $13'$  respectivamente). Los contactos auxiliares M1-( A ) y LS-( A ) se conectan y hacen operar los contactores B1 y B2 que pertenecen al circuito de frenado dinámico, los cuáles conectan al reóstato de acuerdo con la figura  $\approx 14$ .

CIRCUITO GENERAL DE CONTROL

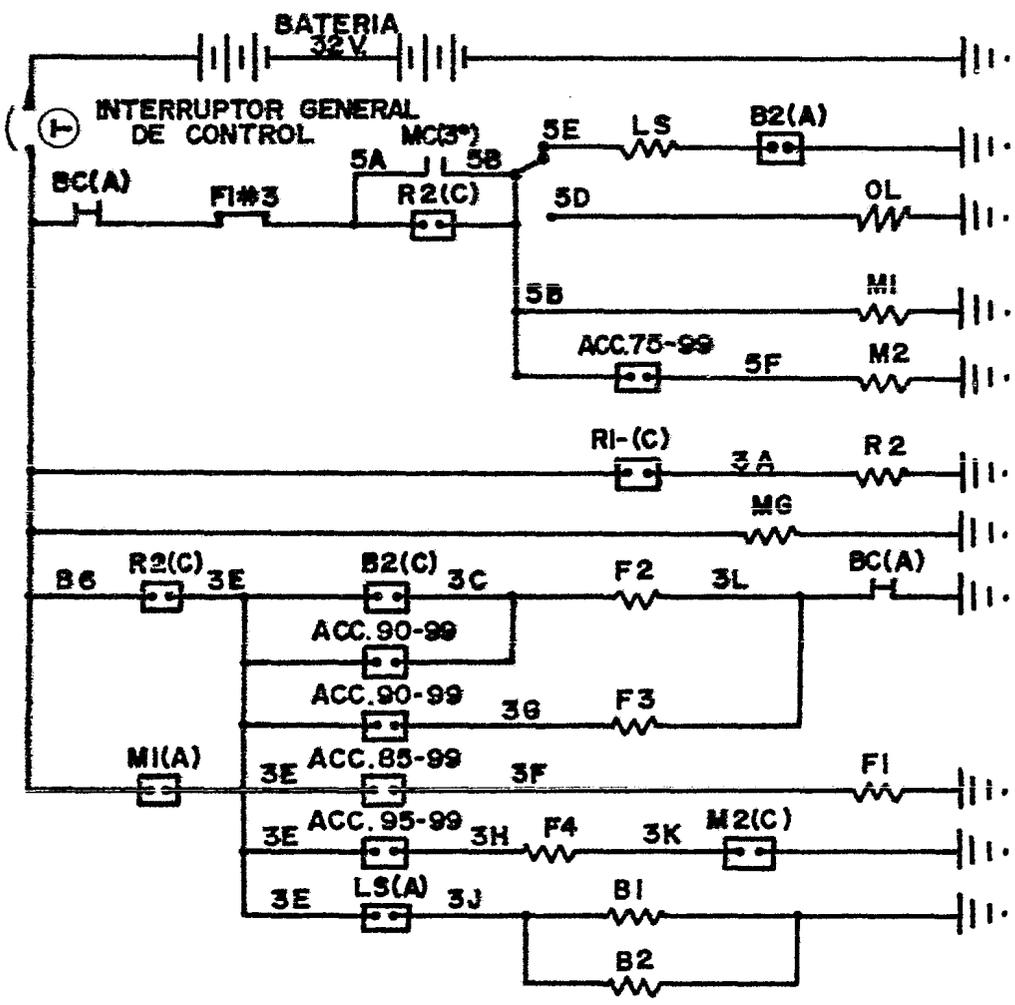


FIG. No. 13'

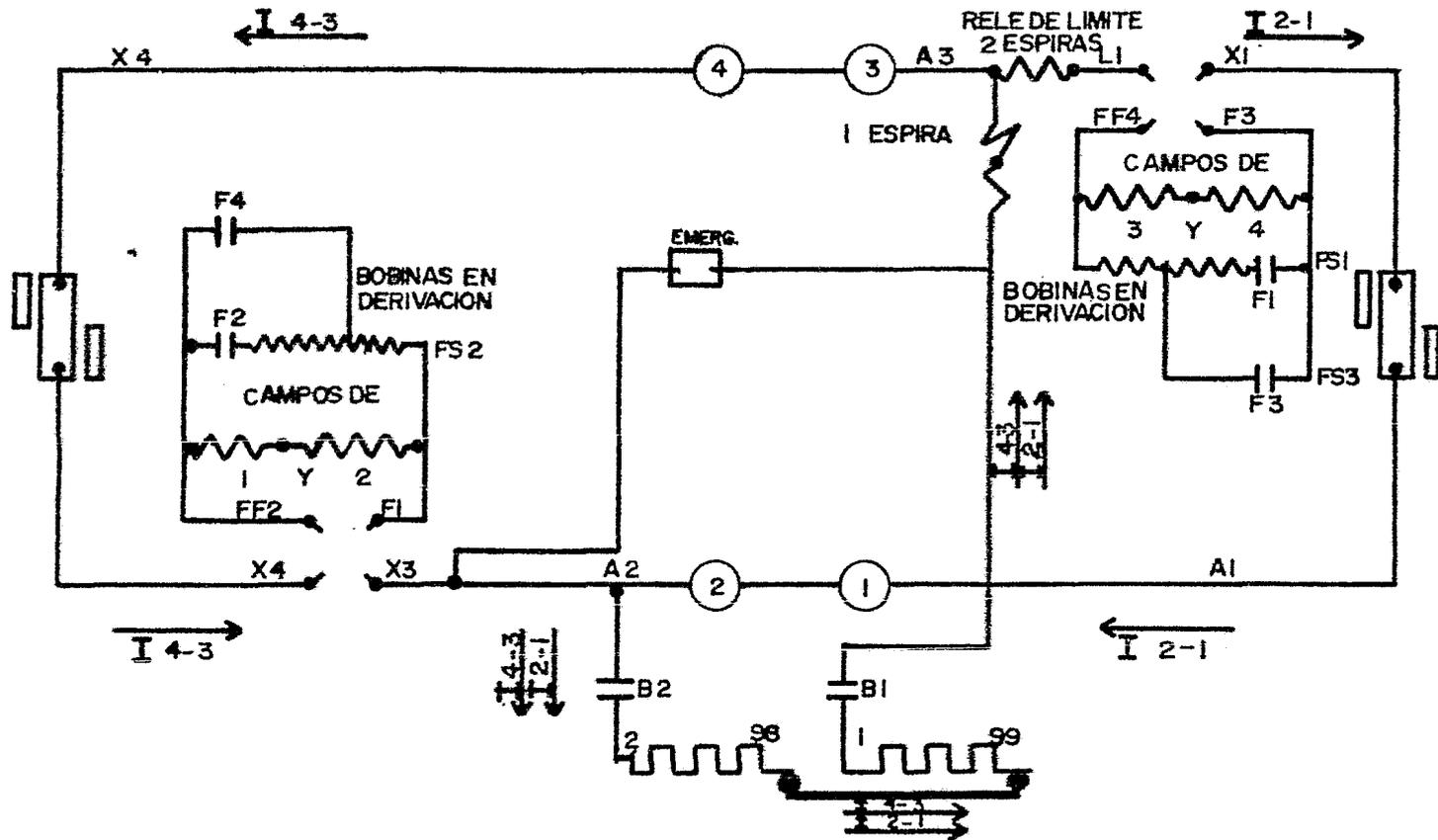


FIG. No. 14

Como los motores de tracción, están conectados en serie por pares, - al cerrarse los contactores B1 y B2, el circuito queda dividido en su -- parte media por el reóstato, quedando invertidas las polaridades res-- pectivas entre armaduras y campos en cada motor y en esta forma la corriente generada por las armaduras 3 y 4 excitan los campos de los motores 1 y 2 cerrando su circuito a través del reóstato.

De igual forma la corriente generada en la armadura 1 y 2 pasan a través del reóstato y excitan los campos de los motores 3 y 4.

De manera similar a la aceleración la corriente de frenado dinámico - es regulada por el relevador de límite, ya que tiene una bobina ( de -- una espira ) conectada en serie con el reóstato y en contacto móvil se-- despegará de 7 hacia 7K, cuando la corriente tome un valor superior - al solicitado por el pedal de freno ( figura #11 ).

El motor piloto hace girar los brazos del acelerador ( reóstato ) desde la posición 99 a la posición 1 y el funcionamiento del circuito de éste - se puede resumir como sigue:

Del contacto B6 pasa por el 7 ( fijo, ) por la bobina vibradora al contacto auxiliar B1- ( C ) por el interruptor de leva del acelerador " AC-30-99 " ramificandose el circuito, una parte de la corriente pasa por-- la armadura del motor piloto hacia tierra y la otra, por el campo inver-- so cerrando el circuito a través del contacto auxiliar B1- ( C ) ( figura - #11 ).

De esta manera, va siendo eliminada la resistencia de carga a medida que el carro va disminuyendo su velocidad, con el objeto de lograr una corriente de frenado constante ( aproximadamente 165 amperes promedio ) la cual es proporcionada la tensión del relevador de límite y por-- lo tanto a la opresión del pedal de freno.

Cuando el reóstato llega a la posición 32 se cierra la leva AC.3-32 -- ( figura #11 ), y poco después ( posición 30 ) se abre la leva 30-99 que-- dando de ésta manera el motor piloto con su campo directo ( con cone-- xión invertida ) en serie con el campo inverso y la armadura, reforzandose el flujo y por lo tanto disminuyendo su velocidad a partir de és-- ta posición. Esta tiene por objeto eliminar la resistencia más lenta-- mentecuando el tranvía va a poca velocidad, ya que el voltaje generado se va abatiendo y el efecto de frenado dinámico tiende a desaparecer.

## 2.4.2. FRENOS DE BALATA Y DE VIA

Además del frenado dinámico, los tranvías están dotados de frenos de balatas electromagnéticas, que actúan sobre un tambor para detener completamente el carro, cuando lleva poca velocidad y también operan los tambores por medio del resorte en casos de emergencia y para -- estacionarlo por largo tiempo. Los diferentes tipos de freno son controlados por un mismo pedal de freno. Como se ha dicho anteriormente el pedal está conectado al tambor correspondiente ( de freno ) del -- control maestro por medio de una exéntrica de tal manera que dicho -- tambor se desplaza de una manera proporcional al movimiento del pedal y por lo tanto, hace operar determinados circuitos al ir cerrando los contactos de acuerdo con la secuencia de cierre.

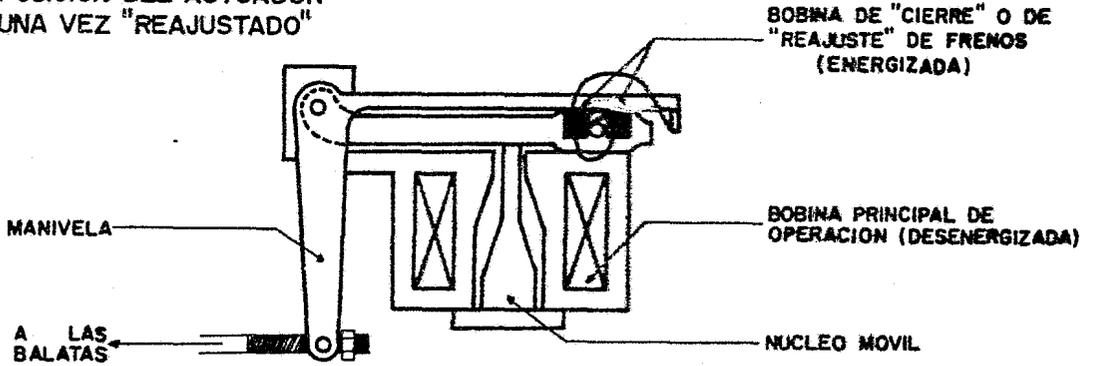
Cada tranvía cuenta con 4 unidades de freno de balatas, estando montadas cada uno de los tambores en los ejes de los motores de tracción y los cuales son operados por un mecanismo electromagnético denominado "ACTUADOR".

Dicho mecanismo consta de una bobina principal de operación, devanada sobre un núcleo de hierro, la cual cuando se energiza hace operar las balatas sobre los tambores de freno por medio de una manivela -- que interconecta las balatas en un pistón que es atraído durante dicha operación. Básicamente son tres las posiciones del actuador de frenos las cuales están mostradas esquemáticamente en la figura #15, y se pueden resumir como sigue:

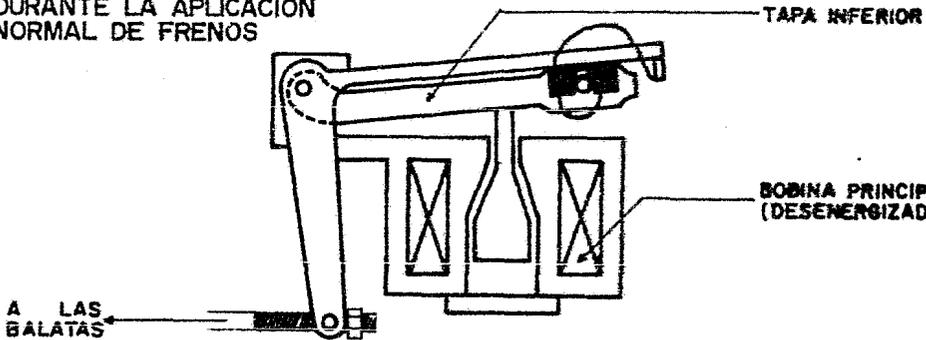
El brazo superior de la manivela es atraído por la bobina de "cierre o reajuste de frenos" formando de esta manera una sola unidad que se mantiene durante el funcionamiento normal del tranvía, ya que dicha bobina vence la tensión de un resorte espiral, el cual al desenergizarse la bobina de reajuste hace operar las balatas de frenos mecánicamente.

El circuito eléctrico de los frenos de balatas se puede apreciar en la figura #16. Así para mantener unidas la tapa superior del actuador con la inferior, o sea, para reajustar los frenos y de esta manera -- dispuestos para funcionar por medio del pedal correspondiente, se hace oprimir el pedal de seguridad, el cual posee 5 contactos auxiliares, quedando desde ese momento energizadas las cuatro bobinas de reajuste por medio del contacto auxiliar número cuatro ( figura #16 ).

POSICION DEL ACTUADOR  
UNA VEZ "REAJUSTADO"



POSICION DEL ACTUADOR  
DURANTE LA APLICACION  
NORMAL DE FRENOS



POSICION DEL ACTUADOR  
EN EMERGENCIA O  
DURANTE EL ESTACIONAMIENTO

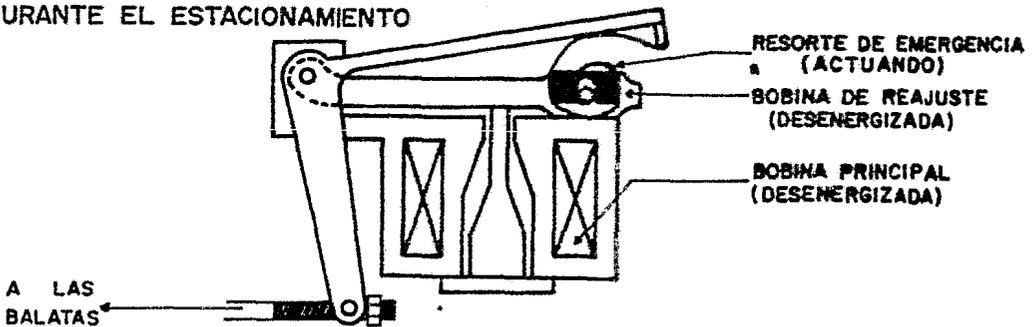


FIG. No. 15

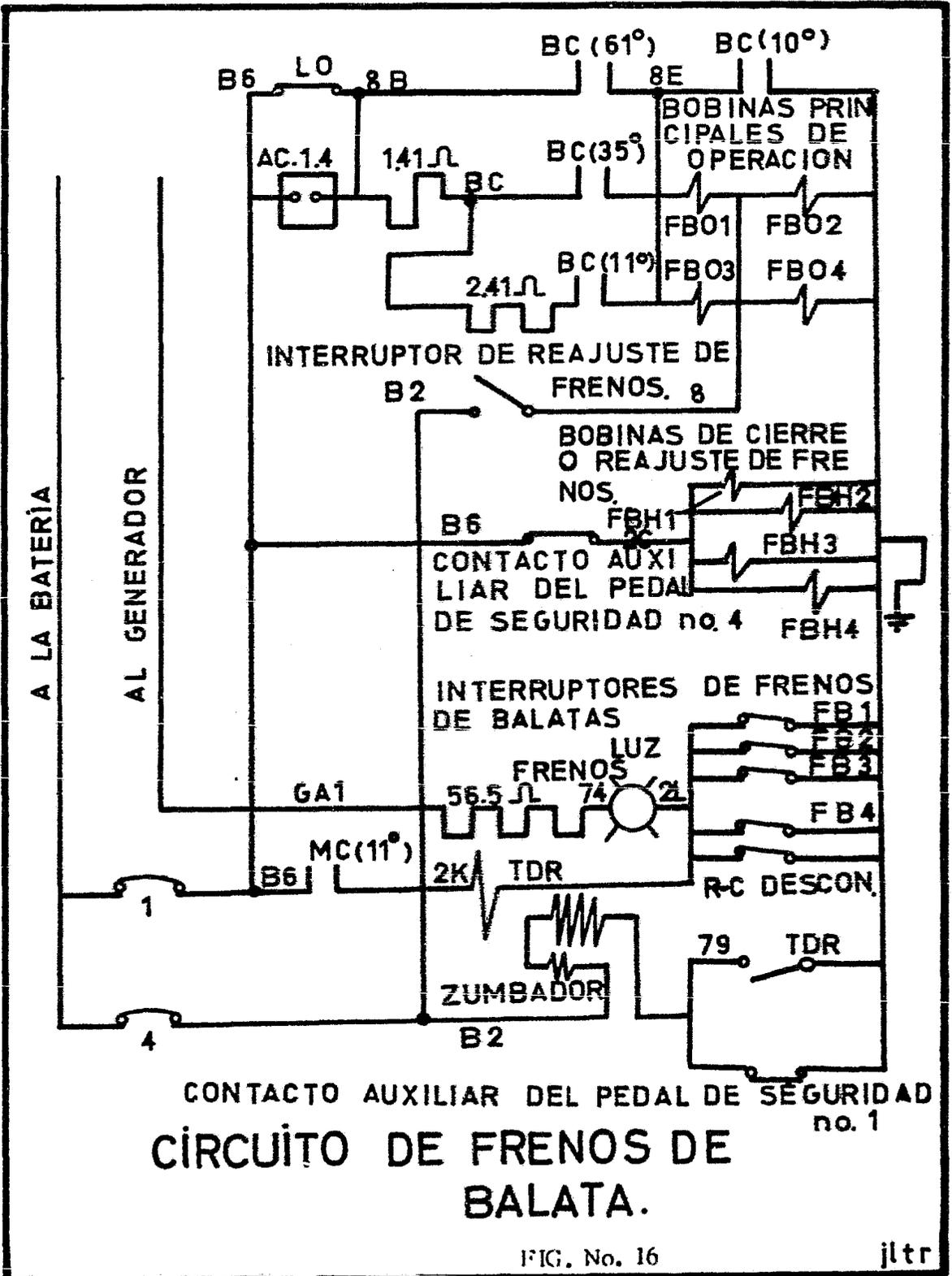


FIG. No. 16

jltr

Pero como la fuerza de atracción de dichas bobinas no es suficiente -- para vencer la tensión del resorte espiral, la operación de reajuste -- debe completarse con el interruptor de " reajuste " , situado en el -- tablero del operador, por medio del cual se energizan las bobinas --- principales de operación con el voltaje de las baterías, haciendo ac-- tuar todo el conjunto y una vez unidas las tapas, se desconecta dicho- interruptor, quedando de ésta manera reajustados los frenos.

Durante el funcionamiento de los frenos, de balatas, las bobinas prin- cipales son energizadas de tres maneras diferentes, esto es, con -- tres voltajes diferentes, según la presión del pedal de freno. Si el - pedal se oprime ligeramente cuando el carro lleva una velocidad me- nor de siete kilómetros sobre hora y por lo tanto el reóstato ha llega- do a la posición cuatro, en su carrera decreciente, las bobinas --- principales serán energizadas a través de la leva AC. 1-4 pasando -- por dos resistencias en serie, de 1.41 y 2.41 Ohms respectivamente, ya que el circuito se cierra por la leva del control maestro BC ( 11<sup>o</sup> ) y hacia tierra a través de las bobinas de operación ( figura #16 ). -- De esta manera las bobinas actuarán con un menor voltaje que quan- do se oprime el pedal de frenos un poco más, haciendo cerrar la le- va BC ( 35<sup>o</sup> ) ya que de ésta manera se elimina la resistencia de -- 2.41 Ohms, aumentando la corriente y por lo tanto, logrando un fre- nado mayor. Cuando el pedal de freno se oprime hasta que el tam- bor del control maestro rebasa los 61<sup>o</sup> se logrará el máximo frena- do con dichos frenos, ya que por medio de la leva correspondiente, las bobinas principales se energizan con el voltaje directo de las ba- terías.

La posición del actuador durante la aplicación normal se puede obser- var en la figura #15.

Por último, cuando el pedal de seguridad por algún motivo queda suel- to, ( accidente o privación de facultades del operador ) los frenos de -- balatas actúan por medio de la expansión del resorte espiral, hacien- do frenar el carro mecánicamente, ya que el contacto auxiliar número 4 se abre, desconectando las bobinas de reajuste. De la misma mane- ra operan dichos frenos cuando el carro va a quedar estacionado duran- te un tiempo considerable ya que de hacerlo con el pedal en la posición de " estacionado " las baterías de descargarían.

Con el objeto de proteger el equipo de los tranvías cuando uno o varios de los actuadores quedan "pegados " por algún motivo y el carro va a - ser acelerado nuevamente, se dispone de cuatro interruptores de los- frenos de balatas que cierran al actuar las bobinas principales de ope- ración, energizando la bobina del TDR ( relevador de tiempo ), el ---

cual por medio de un contacto auxiliar hace sonar un zumbador colocado cerca del operador. También se enciende la luz roja del freno colocada en el tablero.

El zumbador también funciona cuando el pedal de seguridad está suelto y en algunos tranvías se conecta en derivación con un interruptor que cierra al caerse el trole de la línea elevada, avisando de esta manera al operador.

De una manera similar la alarma avisa al operador cuando el grupo M-G no arranca durante el funcionamiento del tranvía (por medio de las baterías) haciendo operar al TDR por medio del contacto auxiliar RC desconectado (ver figura # 13).

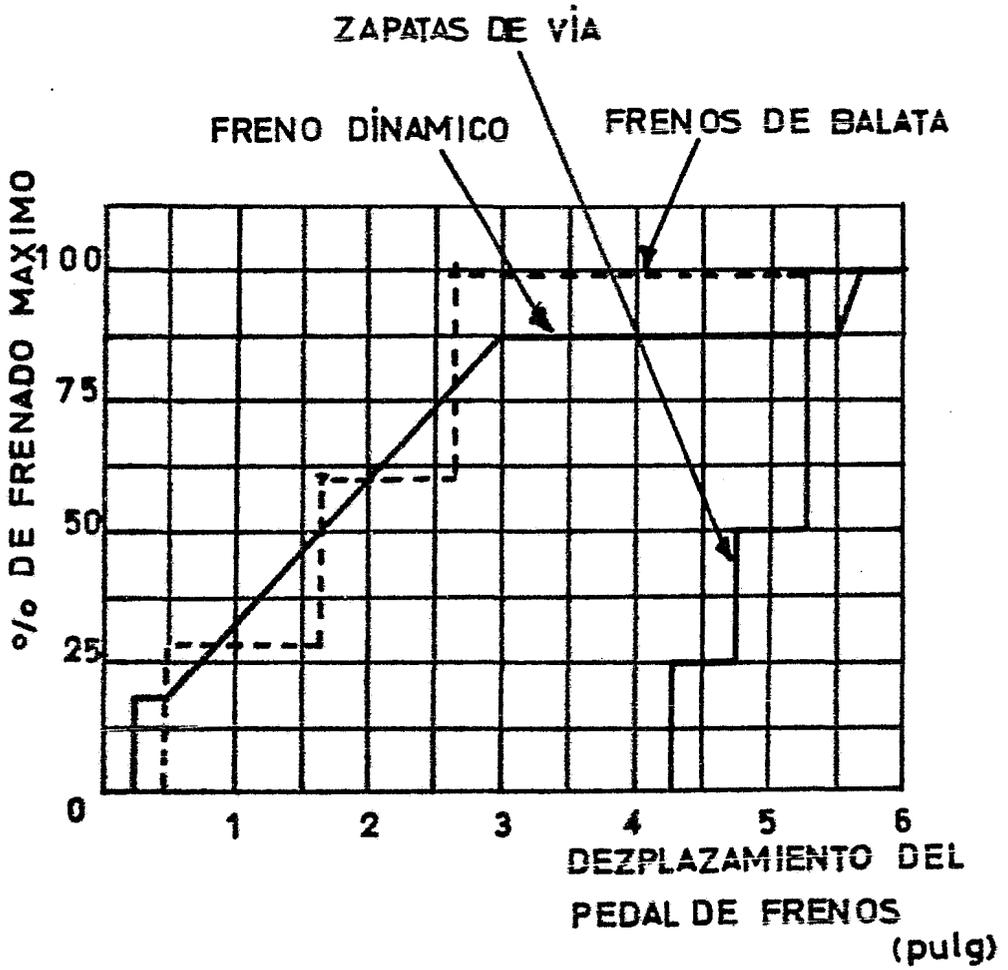
El pedal de seguridad está colocado a la izquierda de los otros dos (aceleración y frenos) y permanece oprimido durante la operación del tranvía ya que de no hacerlo, se desconecta el circuito de fuerza motriz y el carro realiza una parada de emergencia por medio de los contactos auxiliares que a continuación se describen:

El contacto auxiliar # 1 hace sonar la alarma indicando que el tranvía se encuentra en emergencia como se describió anteriormente. El # 2 desenergiza las puertas permitiendo abrirse manualmente. El # 3 desconecta el LS y por lo tanto el circuito de fuerza motriz (ver figura #13'). El # 4 desenergiza las bobinas de reajuste de frenos, haciendo operar las balatas por medio de los resortes espirales (figura # 16). Y el # 5 que energiza los frenos de vía como se describirá a continuación (figura # 17 ).

De esta manera los tranvías están protegidos contra accidentes al operador y de fallas en los frenos sean eléctricos o mecánicos. Las posiciones respectivas de los contactos auxiliares del pedal de seguridad se pueden resumir de acuerdo a la figura # 18.

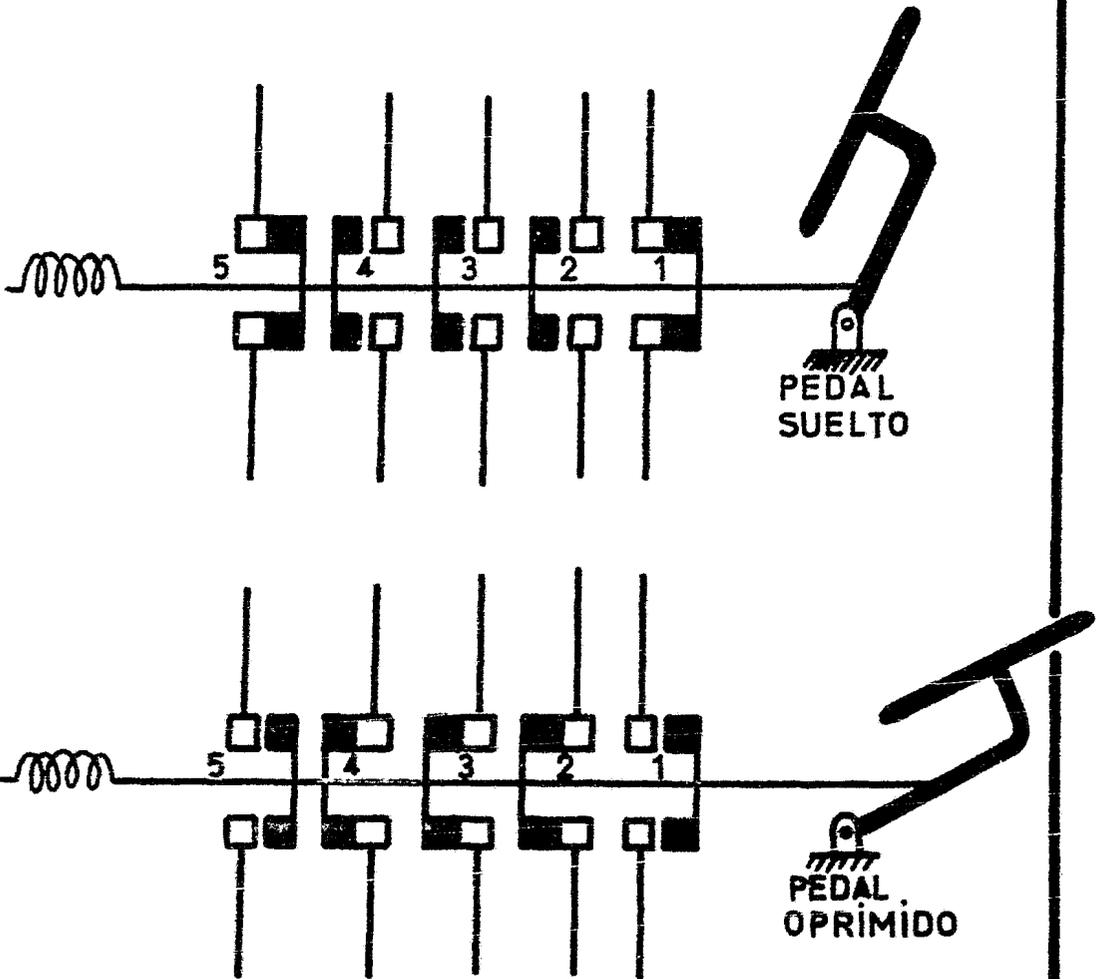
#### 2.4.3.4.- FRENOS DE VIA

Como se ha mencionado anteriormente, una de las mejoras en el sistema de frenos de los tranvías es el uso de zapatas de vía. Dichas balatas están instaladas una por cada par de ruedas, o sea cuatro balatas por tranvía y están suspendidas por medio de resortes en la parte externa de los ejes de ruedas.



## GRAFICA DE SECUENCIA DE FRENOS

FIG. No. 17



POSICIONES RESPECTIVAS DE LOS CONTACTOS AUXILIARES DEL PEDAL DE SEGURIDAD.

FIG. No. 18

Constan de un núcleo de hierro sobre el cual está devanada la bobina de operación, la cual se energiza por medio de las baterías.

La retardación máxima que puede proporcionar las zapatas de vía con el tranvía vacío es aproximadamente de 7Km/hr. /seg. y se adhieren al riel con una fuerza de 1 Tonelada.

Los frenos de vía durante la operación normal del tranvía, son accionados por los interruptores de levas del tambor de frenos en el control maestro y se pueden obtener 4 intensidades de frenado de acuerdo con las posiciones respectivas del pedal de frenos, a partir de la posición correspondiente del tambor cuando ha girado 90° hasta el giro máximo de dicho tambor (116°) en el cual se logra el frenado máximo.

En la figura # 19 se muestra el circuito eléctrico de los frenos de vía, en el cual se puede observar que las levas del control maestro BC-(90°), BC-(94°), BC-(106°) y BC-(116°), hacen operar dichos frenos con intensidades de corriente de menor a mayor según sea el giro del pedal de freno, ya que dichas levas van eliminando resistencia del circuito.

Un contacto auxiliar BC-(90°) conectado en serie con una luz roja instalada en el tablero del operador, es el que avisa a este cuando una o varias zapatas se encuentran en acción.

Como se ha indicado anteriormente, cuando se suelta el pedal de seguridad, el contacto auxiliar # 5 hace operar dichas zapatas conectandolas directamente a las baterías, logrando así el máximo frenado por medio de este sistema.

En la figura # 17 se muestra una gráfica de operación de los diversos tipos de frenos que actúan en los tranvías en por ciento del máximo frenado, de acuerdo con las diversas posiciones del pedal de frenos.

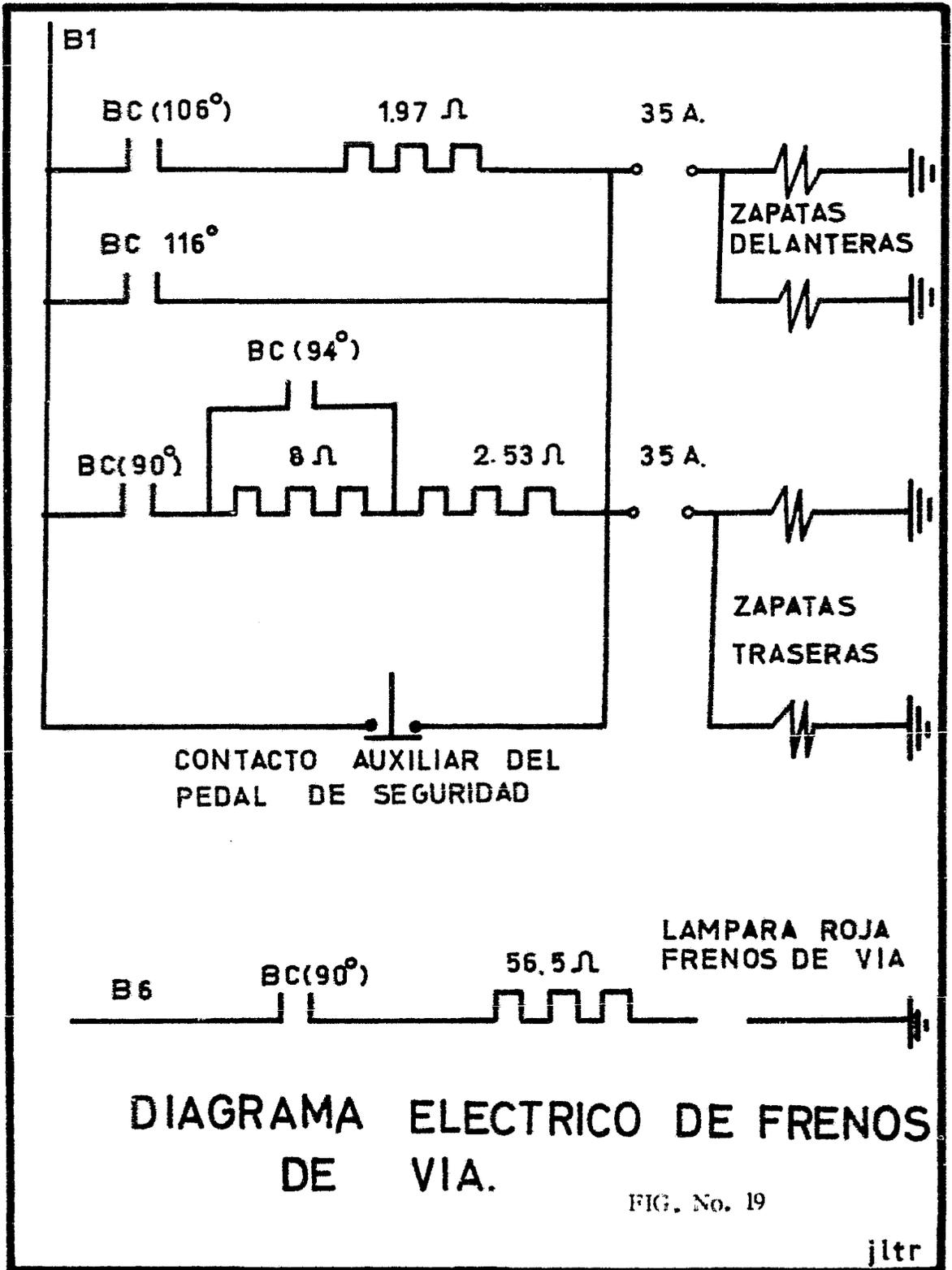


DIAGRAMA ELECTRICO DE FRENOS DE VIA.

FIG. No. 19

jltr

SECUENCIA													
OPERACION	CONTACTORES											POSICION DEL ACELERADOR	
	L5	M1	M2	R1	R2	F1	F2	F3	F4	B1	B2		
ACELERACION													1 A 74
													75 A 79
													80 A 84
													85 A 89
													90 A 94
												95 A 99	
CARRERA LIBRE													99 A 90
													89 A 85
													84 A 1
FRE NADO													99 A 90
													89 A 85
													85 A 80
													79 A 1

 CONTACTOR CERRADO

TABLA COMPLETA DE SECUENCIA DE CIERRE DE LOS CONTACTORES DURANTE EL FUNCIONAMIENTO NORMAL DEL TRANVIA.

### III.- ACOPLAMIENTO DE TRANVIAS

La situación actual de transporte se ha tornado insuficiente, debido al gran crecimiento urbano de población que sufre la ciudad.

Cabe mencionar el gran servicio que presta el sistema de transporte eléctrico, como son los trolebuses y tranvías, para los primeros se han realizado y proyectado una gran expansión, sin embargo para los segundos se ha proyectado pero no se ha llevado a cabo ninguna expansión, sino por el contrario se restringió su servicio a una pequeña zona (Xochimilco-Tlalpan).

Este sistema de transporte como es el tranvía actualmente da un buen servicio para canalizar gente que viven en las zonas que se encuentran a orillas de la Ciudad de México (D. F.).

Nosotros basandonos en un principio solo en unas encuestas realizadas en las zonas de operación del tranvía, decidimos que para mejorar este tipo de transporte sería conveniente acoplar tres carros para que este sistema cumpla mejor con su misión.

Investigando mas a fondo el funcionamiento del tranvia descubrimos con anterioridad que ya se había tratado este problema de acoplamiento, por lo que en este capitulo presentamos una posible solución a este problema.

Para el acoplamiento de tranvías es necesario reacondicionarlo, para esto dividimos el problema en dos:

#### Acoplamiento Mecánico y Acoplamiento Eléctrico.

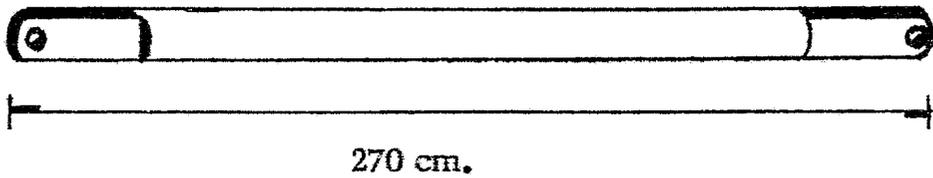
En el Acoplamiento Mecánico justificaremos y modificaremos todo lo referente a como engancharlos mecanicamente de tal motivo que tomaremos en cuenta varios factores, como sería el arrastre o empuje de uno de elloscuando sufra una avería, etc.

En el Acoplamiento Eléctrico se diseñaran los circuitos necesarios para poder operar los tranvías acoplados en forma simultanea y desde una sola cabina de mando, por consiguiente diseñar a la vez circuitos de seguridad.

### 3.1. - ACOPLAMIENTO MECANICO:

En esta sección analizaremos el acoplamiento mecánico partiendo de las actuales piezas que para este fin poseen los tranvías: Primeramente se describe la barra que utiliza actualmente para engancharlos.

Se posee lo siguiente:



Con una sección transversal de:



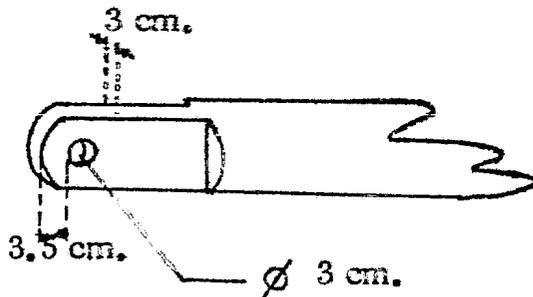
$$A = \pi/4(D^2 - d^2)$$

$$A = \pi/4(7^2 - 4^2)$$

$$A = 25.42 \text{ cm}^2$$

$$A \approx 26 \text{ cm}^2$$

En cada uno de sus extremos tenemos la siguiente forma:



Para nuestro modelo de acoplamiento primeramente analizaremos el peso del tranvía así como la carga total que puede transportar en un momento dado.

El peso existente de los tranvías varía de:  
16300 Kg. a 17332 Kg. estando vacío (Datos reales obtenidos del S.T.E.).

Para nuestro análisis supondremos un peso un poco mayor, -- para lo cual redondearemos a 18000 Kg. y sabemos que los tranvías existentes pueden transportar 50 personas cómodamente sentadas y dos veces este número paradas dando un total de 150 personas como máximo, ( Datos obtenidos del S.T.E. ) donde el peso promedio por persona es de 75 Kg. por lo tanto tenemos 75 Kg. ( 150 personas ) = 11250 Kg. pero, también lo redondearemos a 12000 Kg. para tener un menor rango de error en los cálculos, de tal manera que sumando los pesos tendremos  $18000 + 12000 = 30000$  Kg. en total.

También es posible tener el coeficiente de fricción de las ruedas con los rieles que es de 0.13 a 0.14 buenas condiciones, y de 0.06 en malas condiciones de rieles y ruedas.

Con todos los datos antes asentados podemos calcular la fuerza que desarrolla el tranvía en buenas condiciones, por que será, la máxima fuerza:

Donde:

$$F = \mu P$$

$$\mu = 0.14$$

$$F = 0.14 ( 30000 )$$

$$F = 4200 \text{ Kg.}$$

P: peso total del tranvía incluyendo su carga de pasaje -- máximo.

Buscando en tablas se obtuvo el módulo de elasticidad para el material el cual pensamos usar en el acoplamiento mecánico.

$$E = 2.1 ( 10^6 ) \text{ Kg. / cm}^2$$

Con todos estos datos obtenidos y calculados podemos pasar a justificar el tamaño y el grosor ( sección transversal ) de la barra que se usará en el acoplamiento.

Para obtener el largo de la barra se hará, para la vuelta mas pronunciada que da el tranvía cuando está enganchado a otro.

La curva mas pronunciada tiene 90 grados en total y es la -- que existe actualmente en la terminal Xochimilco.

Para estimar el ángulo que forman los frentes de los tranvías con la barra se tomará en cuenta también que los trucks tienen movimiento (giran en su eje).

Este análisis se hará en forma gráfica como se puede observar en la figura # 20 .

Los datos que utilizaremos para la estimación del largo serán los siguientes:

Frente del tranvía: 2.40 mts.

Largo del tranvía : 14 mts.

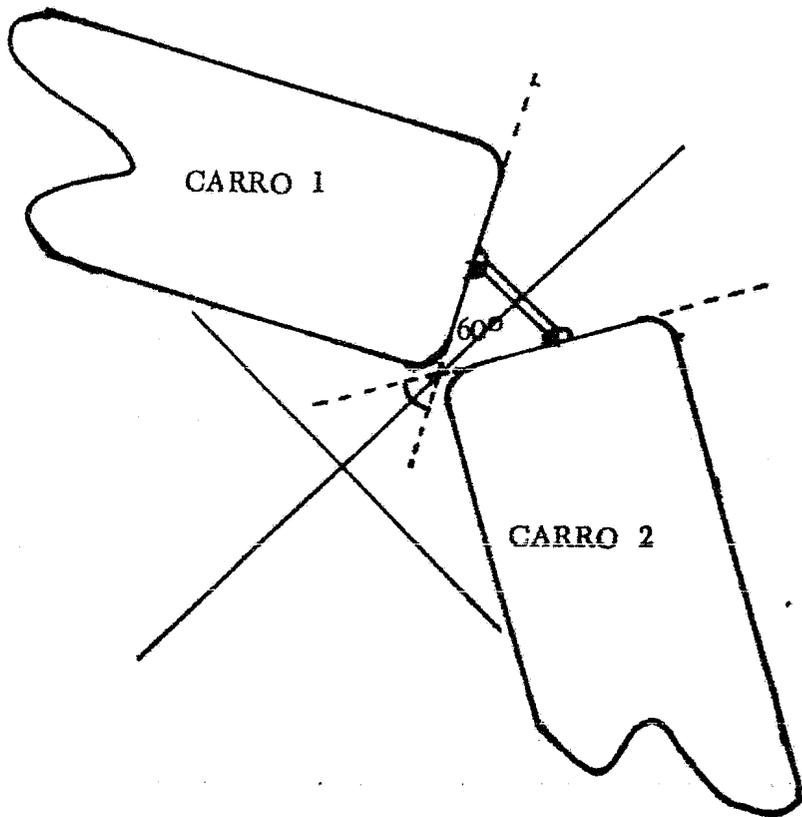
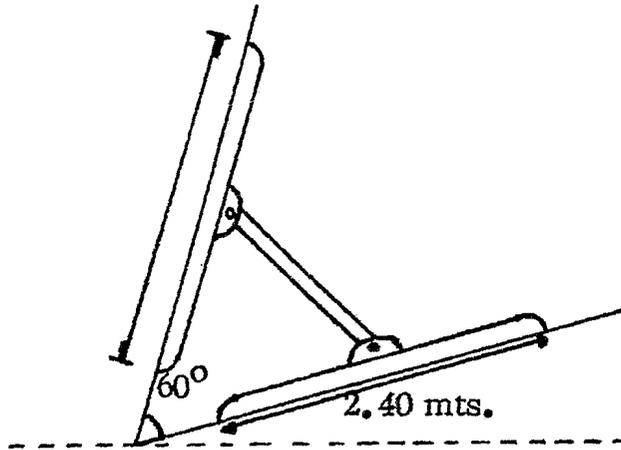
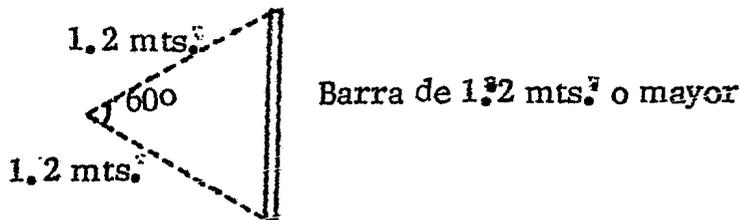


FIGURA # 20

Ampliando la parte donde se observa el largo de la barra así como su posición con respecto a los frentes de los tranvías tenemos lo siguiente:



Por lo tanto el largo de la barra de unión puede ser de:



por lo que la barra debe ser de 1.20 mts. o mayor. Para asegurar que los carros no chocan el uno con el otro le daremos una tolerancia del 25 % mas grande que la medida - obtenida.

Por lo tanto tendremos:

$$1.20 \text{ mts.} ( 1.25 ) = 1.50 \text{ mts.}$$

Con este nuevo dato ya podemos calcular la sección transversal de la barra a utilizar en el enganche, además de basarnos en la fuerza del tranvía, el módulo de elasticidad y la resistencia a la cedencia.

La resistencia a la cedencia se define como el esfuerzo que produce en los materiales una deformación permanente especificada, que generalmente es menor del 0.3%.

Para nuestro caso supondremos un alargamiento de 0.01 cm. primeramente veremos si cumple con el valor especificado para la resistencia a la cedencia.

Datos con que contamos:

Largo de la barra : 150 cm.

Alargamiento: 0.01 cm.

$$\% \text{ de } \Delta \frac{\text{Alargamiento}}{\text{Largo de la barra}} \times 100$$

donde  $\Delta$  significa alargamiento.

$$\% \text{ de } \Delta \quad 0.01/150 ( 100 ) = 0.0067 \%$$

como se puede apreciar el valor cae dentro de lo especificado anteriormente.

Por consiguiente la sección transversal será calculada con la siguiente fórmula :

$$\Delta = FL / AE$$

donde:

F: Fuerza.

L: Largo de la barra.

A: Area (Sección Transversal).

E: Módulo de elasticidad.

Despejando a A de la fórmula tenemos:

$$A = FL / \Delta E$$

sustituyendo valores tenemos:

$$A = 4200 \text{ Kg.} (150 \text{ cm.}^2) / 0.01 \text{ cm.} \cdot 2.1 (10^6) \text{ Kg./cm}^2$$

$$A = 30 \text{ cm}^2$$

Por tanto de los cálculos anteriores se sabe que se requerirá una barra con una sección transversal de  $30 \text{ cm}^2$ . Con esta área calculada se pueden conocer los esfuerzos máximos a tensión, compresión y cortante.

A tensión y compresión tenemos:

$$\sigma_{\text{MAX}} = F/A$$

donde:

F: Es la fuerza.

A: Es la sección transversal de la barra.

por lo tanto:

$$\sigma_{\text{MAX}} = 4200 \text{ Kg.} / 30 \text{ cm}^2 = 140 \text{ Kg./cm}^2$$

Y a cortante tenemos:

$$\tau_{\text{MAX}} = F/2A$$

$$\tau_{\text{MAX}} = 4200 \text{ Kg.} / 2 (30 \text{ cm}^2) = 70 \text{ Kg./cm}^2$$

De los valores anteriormente calculados se puede resumir: Que es necesaria una barra con las siguientes características  
Módulo de elasticidad cuando menos de  $2.1 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$

una sección transversal de  $30 \text{ cm}^2$ .  
una longitud de  $150 \text{ cm.}$

y que además resista los siguientes esfuerzos:

Esfuerzo a tensión y compresión =  $140 \text{ Kg/cm}^2$

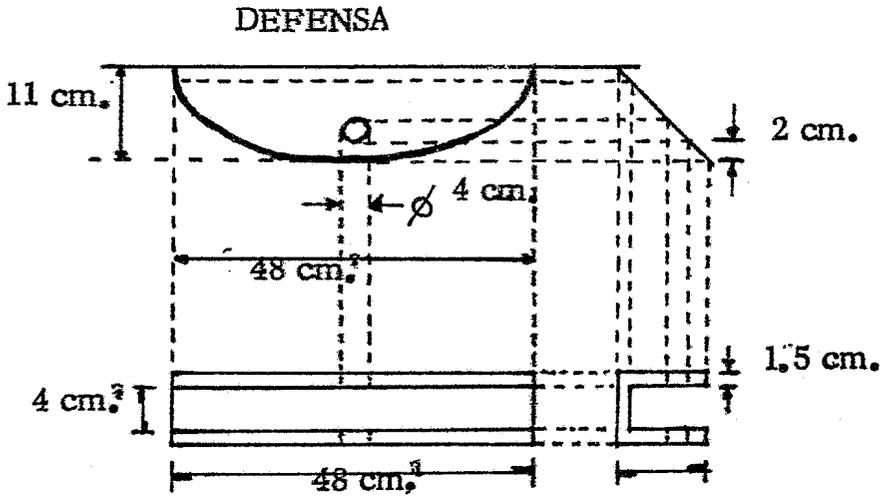
Esfuerzo cortante =  $70 \text{ Kg/cm}^2$

Pudiendo utilizar barras que ya se tengan en existencia que cumplan con las anteriores características o en su defecto recurrir a las especificaciones que se tengan para barras huecas, proporcionadas por algún fabricante.

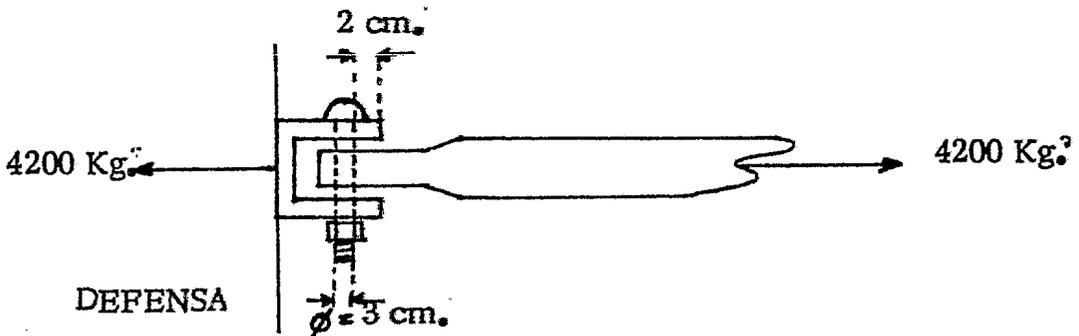
Otro elemento con que constan los tranvías es una pieza su-

jeta al chasis.

El cual tiene las siguientes dimensiones y forma:



En ésta sección analizaremos el perno que servirá para fijar la barra al tranvía.



Sección transversal del perno:

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$= \frac{\pi (3)}{4} = 7.07 \text{ cm}^2$$

Calculando esfuerzos cortantes el perno tenemos:

$$\text{Esfuerzo cortante máximo} = \frac{F}{2A}$$

$$= \frac{4200}{2 (7.07)} = 297.03 \text{ Kg/cm}^2$$

Se requerirá un perno que resista un esfuerzo cortante de -  
 $297.03 \text{ Kg/cm}^2$ .

Este valor lo debemos comparar con valores de tablas que nos proporciona el fabricante, para distintas aleaciones de acero, logrando con esto una selección de elementos con los que se puede contar en cualquier tiempo y además que no es difícil conseguir en el mercado.

De tal forma que se utiliza los elementos que tienen actualmente los tranvías. Logrando con esto una disminución en los costos de adquisición.

## ACOPLAMIENTO ELECTRICO

Sabemos que el control de velocidad se logra conectando en serie un reóstato con los motores de tracción. Este reóstato nos permite regular el paso de corriente de excitación del campo de los motores de tracción para que su arranque sea continuo, ya que de otra forma sería muy irregular.

Como debemos mantener la corriente de campo a través del reóstato logramos que este se mueva a velocidad constante acoplado a un motor piloto. Considerando que el voltaje es constante en el motor piloto dado que se alimenta a través de las baterías solamente tendremos que controlar el flujo de corriente que manda el control maestro hacia el motor piloto entre cada uno de los carros.

La solución que se propone en este caso es mandar la señal desde el primer control que está en el tren que conduce directamente al segundo al o a los remolques que se deseen acoplar.

Dado que una conexión entre dos o más tranvías ocasiona una pérdida de la señal a través del cable conductor, necesitamos de un dispositivo que la amplifique en forma adecuada para accionar el siguiente motor piloto.

Las pérdidas calculadas en los cables que conducen la señal de control entre dos tranvías son las siguientes:

Como deseamos que el control de aceleración y frenado dinámico opere simultáneamente en los ( 3 ) carros consideramos que haciendo una interconexión en paralelo alimentando con la señal que sale del control maestro.

Los siguientes valores medidos fueron: ( Datos obtenidos físicamente en los andenes de los talleres del Sistema de Transporte Eléctrico ) .

$$\begin{aligned} V &= 32 \text{ Volts.} \\ I &= 10 \text{ Amps.} \\ &\text{máx.} \end{aligned}$$

por lo tanto:

$$R = V/I = 32/10 = 3.2 \text{ Ohms.}$$

Además da una potencia de operación:

$$P_{\text{oper.}} = (32)(10) = 320 \text{ watts.}$$

Conocidos estos parámetros podemos calcular las pérdidas que proporciona el cableado en paralelo y tomar medidas para corregirla - si es necesario.

Para un conductor de calibre 10 tenemos:

$$R = \rho L/A$$

$$A = 4.77 (10^{-6}) \text{ m.}^2$$

$$L = 60 \text{ m.}$$

$$\rho = 1.72 (10^{-8})$$

$$R = (1.72 \cdot 10^{-8}) (60) / 4.7764 (10^{-6})$$

$$R = 0.216 \text{ Ohms.}^{\frac{2}{3}}$$

Para un conductor de calibre 12 tenemos:

$$\rho = 1.72 (10^{-8}) \text{ Ohms- Metros.}$$

$$A = 3.31 (10^{-6}) \text{ m.}^2$$

$$L = 60 \text{ m.}$$

$$R_{12} = \frac{(1.7 \cdot 10^{-8}) (60)}{3.31 (10^{-6})}$$

$$R_{12} = 0.308 \text{ Ohms.}^{\frac{2}{3}}$$

Para un conductor de calibre 14 tenemos:

$$\rho = 1.72 (10^{-8}) \text{ Ohms-m.}$$

$$A = 2.08 (10^{-6}) \text{ m}^2$$

$$L = 60 \text{ m.}$$

$$R_{14} = \frac{(1.72 \cdot 10^{-8}) (60)}{2.08 \cdot 10^{-6}}$$

$$R_{14} = 0.490 \text{ Ohms.}$$

Con estas condiciones hacemos el cálculo de pérdidas que corresponden a lo siguiente:

$$R_t = 3.2 + R_{12}$$

$$R_{t12} = 3.2 + 0.308$$

$$R_{t12} = 3.508 \text{ Ohms.}$$

$$R_{t14} = 3.2 + 0.492$$

$$R_{t14} = 3.690 \text{ Ohms}$$

$$I_{\text{perd } 12} = V / R_{t12}$$

$$I_{\text{perd } 12} = 32 / 3.508$$

$$I_{\text{perd } 12} = 9.12 \text{ Amps.}$$

$$I_{\text{perd } 14} = 32 / 3.690$$

$$I_{\text{perd } 14} = 8.86 \text{ Amps.}$$

En las pérdidas de potencia tendremos:

$$P_{\text{perd } 12} = 32 (9.12) = 291.84 \text{ Watts.}$$

$$P_{\text{perd } 14} = 32 (8.86) = 283.73 \text{ Watts.}$$

Podemos observar que para el calibre número 12 tenemos un 8.8 % de pérdidas.

Para el calibre # 14 tenemos un 11.5 % de pérdidas. Comparando las pérdidas de potencia disipada en el conductor con el beneficio que puede otorgar el acoplamiento entre dos o mas tranvías podemos decir que son mínimas y además justifican la modificación que se debería hacer.

Estas pérdidas las debemos regenerar con un amplificador de corriente que nos da a la salida la corriente necesaria para que pueda excitar a la siguiente etapa y así corregir la deficiencia.

Entonces tendremos que modificar el circuito de aceleración y frenado dinámico como se explica a continuación:

Quando el pedal del acelerador se oprime haciendo que gire el árbol de levas más de  $13^{\circ}$ , el interruptor de leva se cierra en el control maestro; de esta forma se establece un circuito cerrado. Si se alimenta la señal de control de la salida del interruptor de leva al interruptor del segundo tranvía a través de un contacto de un polo tiro doble y además se amplifica la señal, podremos mandar el valor requerido de corriente que haga cerrar el circuito de aceleración del o los tranvías que se deseen interconectar ( 3 ) de tal manera que si en un momento determinado exista una falla pueda seguir trabajando el sistema.

El contacto o contactos que interconectan dos o mas tranvías -- puede estar en el tablero de control del primero para que el operador pueda operarlos manualmente.

Además se puede poner una luz piloto que indique si hay alimentación de energía eléctrica entre los carros que desean interconectar, también a la vista del operador.

En la siguiente figura se puede ver el acoplamiento:

(Ver figura No. 21 )

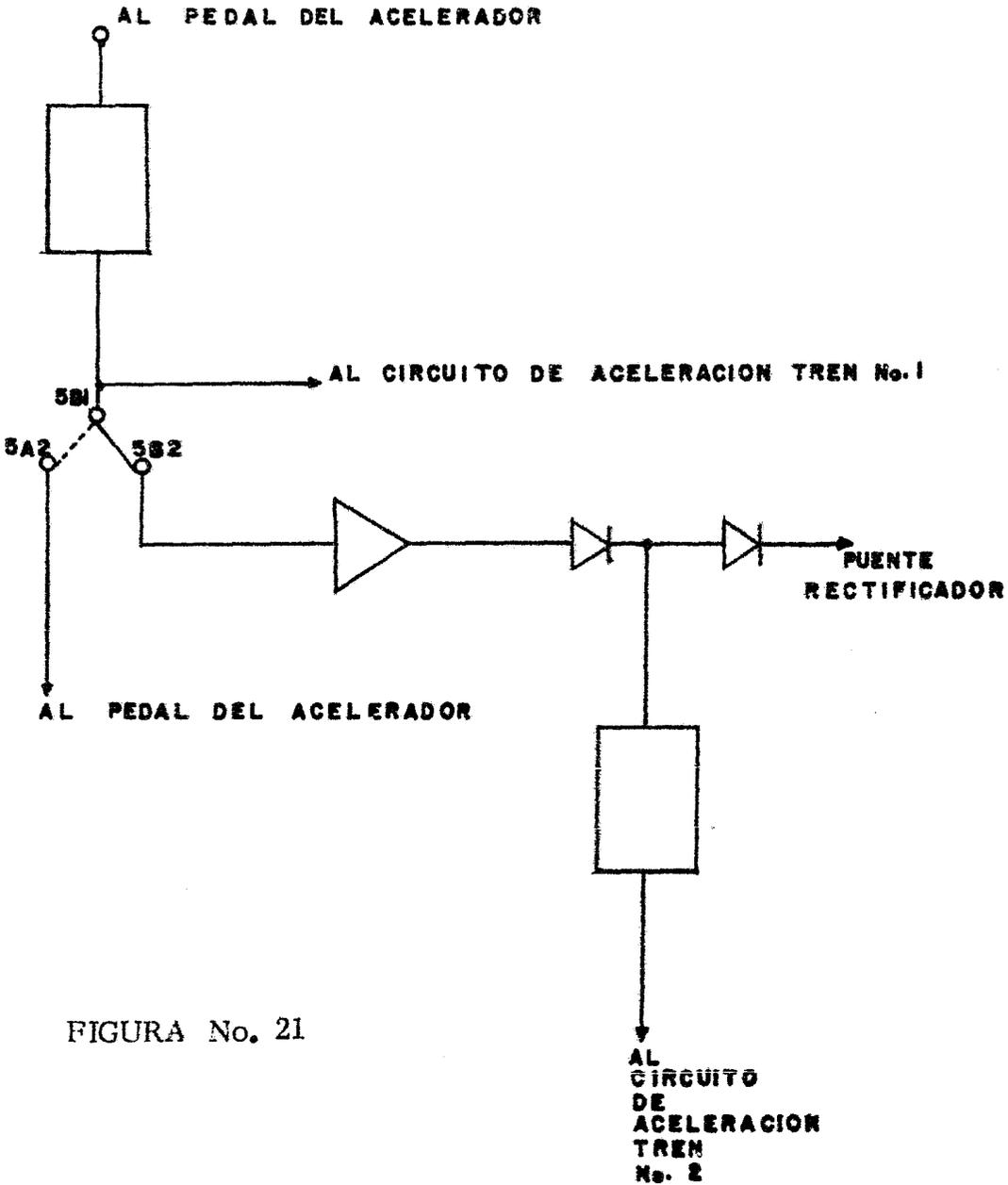


FIGURA No. 21

En el frenado dinámico se aprovecha la fuerza Contraelectromotriz inducida al invertir el campo de los motores de tracción y estos -- generan una fuerza Contra-electromotriz de tal manera que podemos interconectar los campos derivados en forma simétrica entre dos o mas tranvías para que proporcione un frenado dinámico uniforme.

Esto se logra interconectando los motores de tal manera que un -- par de motores sea excitado por la corriente generada por la armadura del otro par de motores. Así la fuerza electromotriz inducida de los motores tres y cuatro se opondrá a la de los motores uno y dos cuyos campos también deben interconectarse en serie y conectarse en forma simétrica a las armaduras para producir una fuerza electromotriz que produce un campo invertido de 180 grados que se opone en forma franca en sentido normal de giro y además produce una contracorriente en el motor piloto haciendolo girar en -- sentido opuesto, logrando así una desaceleración mas adecuada y uniforme.

A continuación se hace una descripción de la modificación que se propone en la implementación del acoplamiento en el circuito de aceleración.

Cuando el pedal del acelerador se oprime haciendo girar el árbol de levas mas de 13 grados, el interruptor de levas 5A-5B se cierra en el Control Maestro. De aquí hacemos la interconexión en paralelo al segundo tranvía del amplificador que regenere la señal de corriente y se interconecta a los nodos 5A-5B del segundo tranvía para cerrar el circuito de control de aceleración, en caso de que se implemente un tercero, tenemos que implementar otra etapa de amplificación para que se controle desde el primer tranvía.

Se establece un circuito que cierra el contacto M1. El interruptor-oscilador B6-3E de M1 abierto (normalmente cerrado cuando el contactor M1 está abierto), abrirá haciendo que la bobina del contactor B1 se desenergice y abra el contactor siguiente.

El interruptor auxiliar de B2 abierto completa el circuito para la bobina del interruptor de línea (LS) a través de 5G y G y el interruptor auxiliar de 0.2 ( relevador de sobrecarga ) a través de 5B-5E.

Al cerrar el interruptor de línea ( LS ), el interruptor auxiliar de ( LS ) cerrado ( T4-T4A ) hará que el contactor R1 cierre. El interruptor auxiliar de R1 cerrado ( B6-3A ) energizará la bo-



bina del contactor R2 haciendo que este cierre.<sup>3</sup>

La aceleración se puede aplicar o eliminar de los motores principales operando el pedal que hace girar la leva 5A-5B simultánea -- mente en dos o tres tranvías y esta establece los circuitos para -- los contactores M1 y M2 que interconectan los motores de tracción directamente a 600 Volts.<sup>3</sup> Esto se puede observar en la figura # 22

El frenado dinámico opera de la siguiente manera:  
La fuerza electromotriz inducida pasa a través del puente rectificador al nodo 5A-5B cuando el pedal del acelerador se suelta y gira 11 grados hacia atrás el interruptor de leva MC ( cerrado ) abre y los contactores LS y M1 abren los interruptores auxiliares M1 - abierto ( B6-3C ) y el LS abierto ( 3E-3J ) están ahora cerrados; haciendo cerrar los contactos B1 y B2.

Una vez cerrados los circuitos del motor piloto hace girar el acelerador a la posición # 1.<sup>3</sup>

El circuito del motor piloto se establece a través de los contactos B6-7 del relevador de límite a través del interruptor B1 cerrado -- ( 7A-7C ).<sup>3</sup>

Pasa a través del interruptor de levas ( 30-39 ) del acelerador, en este punto parte de la corriente fluye a través de la armadura del motor piloto a tierra y la otra parte fluye a través del campo inverso por el interruptor auxiliar B1 cerrado ( 7G-7H ) pasando por una resistencia de 2 Ohms a tierra.

Al llegar al punto 32 del acelerador se establece se establece un nuevo circuito al abrir el interruptor de levas 30-39 ( 7G-7D ). Con el tranvía a menor velocidad, el voltaje generado disminuirá. La resistencia deberá cambiarse a un punto mas bajo, en la línea 7C el interruptor de leva del acelerador 3-32 ( 7C-7E ) está cerrado y el circuito se establece a través de este interruptor, el interruptor auxiliar B2 cerrado (7E-7F) a través del campo directo en la dirección opuesta a la línea 7D donde se completa el circuito .

El campo directo está en serie con el campo inverso y la armadura del motor piloto, obteniéndose una velocidad reducida del mismo.

El interruptor de levas B6-5A establece los circuitos de aceleración cuando el pedal de frenado está en la posición de fuera, el interruptor de línea LS se puede desenergizar suprimiendo el pedal de frenado, abriendo el interruptor de leva BC. Cuando esto se hace los circuitos de frenado se restablecen normalmente esto se ve en el diagrama de la figura # 22 y 24.

### FRENADO DE BALATAS.

Para hacer una interconexión entre dos o tres carros se conectan en paralelo entre los puntos B2-8G y entre cada uno de ellos otro amplificador de corriente para que haga actuar simultáneamente las bobinas de operación de los actuadores con el voltaje de la batería.

Las bobinas de sujeción de los actuadores se energizan a través del interruptor # 4 y del pedal de freno y los mantiene en la posición adecuada de operación.

Además el control de posición de frenado se regula a través de la profundidad a la que se oprime el pedal considerando una parada normal, la primera intensidad de frenado se obtiene haciendo girar el árbol de levas de frenado 11 grados que cerrará el interruptor de levas 8D-8E, como el acelerador regresa al punto # 4, cerrará el interruptor de levas 1-4, en este momento el circuito de frenado tiene intercaladas en serie la resistencia en serie de 1.41 y 2.41 Ohms, originándose la menor intensidad de frenado de balatas.

Haciendo girar el árbol de levas de frenado 35 grados cerrará el interruptor de levas ( 8C-8E ) eliminando la resistencia de 2.41 Ohms lográndose así la intensidad de frenado de balatas intermedia.

Cuando se oprime el pedal hasta hacer girar el árbol de levas 61 grados el interruptor de levas ( 8B-8E ) cerrará eliminando la resistencia de 1.41 Ohms y aplicando la máxima intensidad de frenado de balatas.

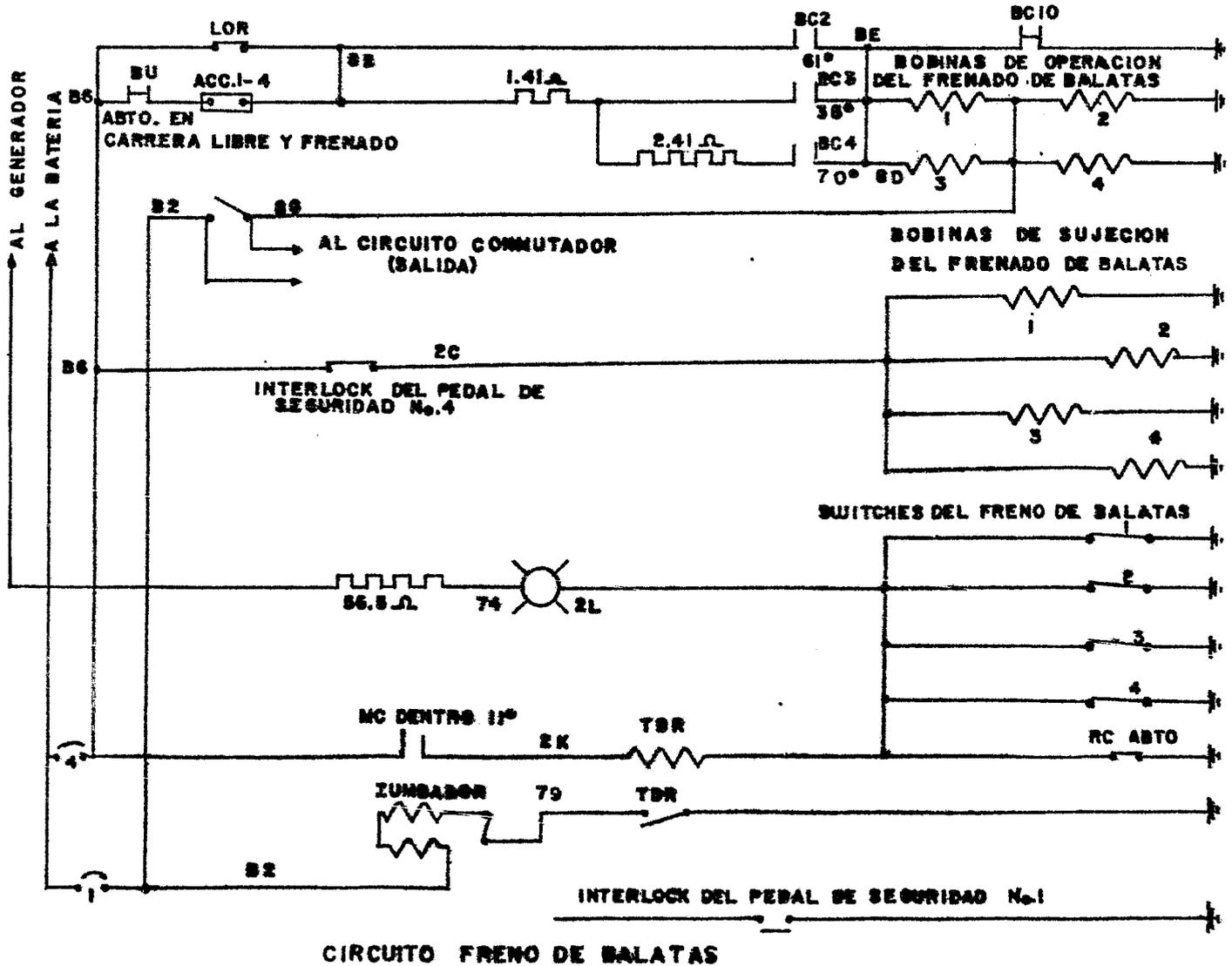


FIGURA No. 23

En emergencia, el interruptor del pedal de seguridad # 4 abre desenergizando las bobinas de sujeción de los actuadores, permitiendo que se aplique la acción mecánica de los resortes.

Cada actuador está provisto de un interruptor conectado en paralelo con los otros actuadores que hace encender la luz de la señal de balatas. Esta señal indica al operador cuándo algún actuador por causas diversas no elimina la acción de las balatas sobre los tambores.

Además cuenta con un relevador de frenos (L.O.R.) que está diseñado de tal forma que el freno de balatas se aplique inmediatamente si por alguna razón falle el frenado dinámico. Este interruptor está conectado en paralelo con el relevador de levas 1-4 que sustituye la función del interruptor de levas en caso de que este falle.

Cuando se aplica la aceleración sin haber ajustado el freno de balatas el relevador de acción retardada (T.D.R.) hace sonar el zumbador por medio de un interruptor auxiliar como se muestra en la figura # 23.

#### FRENADO DE VIA.

El tranvía tiene 4 electroimanes colocados dos en cada truck que sirven para proporcionar un frenado extra, que se puede usar en cualquier momento.

Operan en forma electromagnética adhiriéndose a los rieles. Su funcionamiento es el siguiente:

Si se hace girar el árbol de levas de frenado hasta los 90 grados cerrará el interruptor de levas B1-9B que se conecta en paralelo con los correspondientes de los trenes remolque, para energizar las bobinas de los electroimanes a través de las resistencias en serie de 8 y 2,53 Ohms al mismo tiempo otro interruptor de leva cierra estableciendo el circuito de la luz de señal de frenado de vía (luz roja).

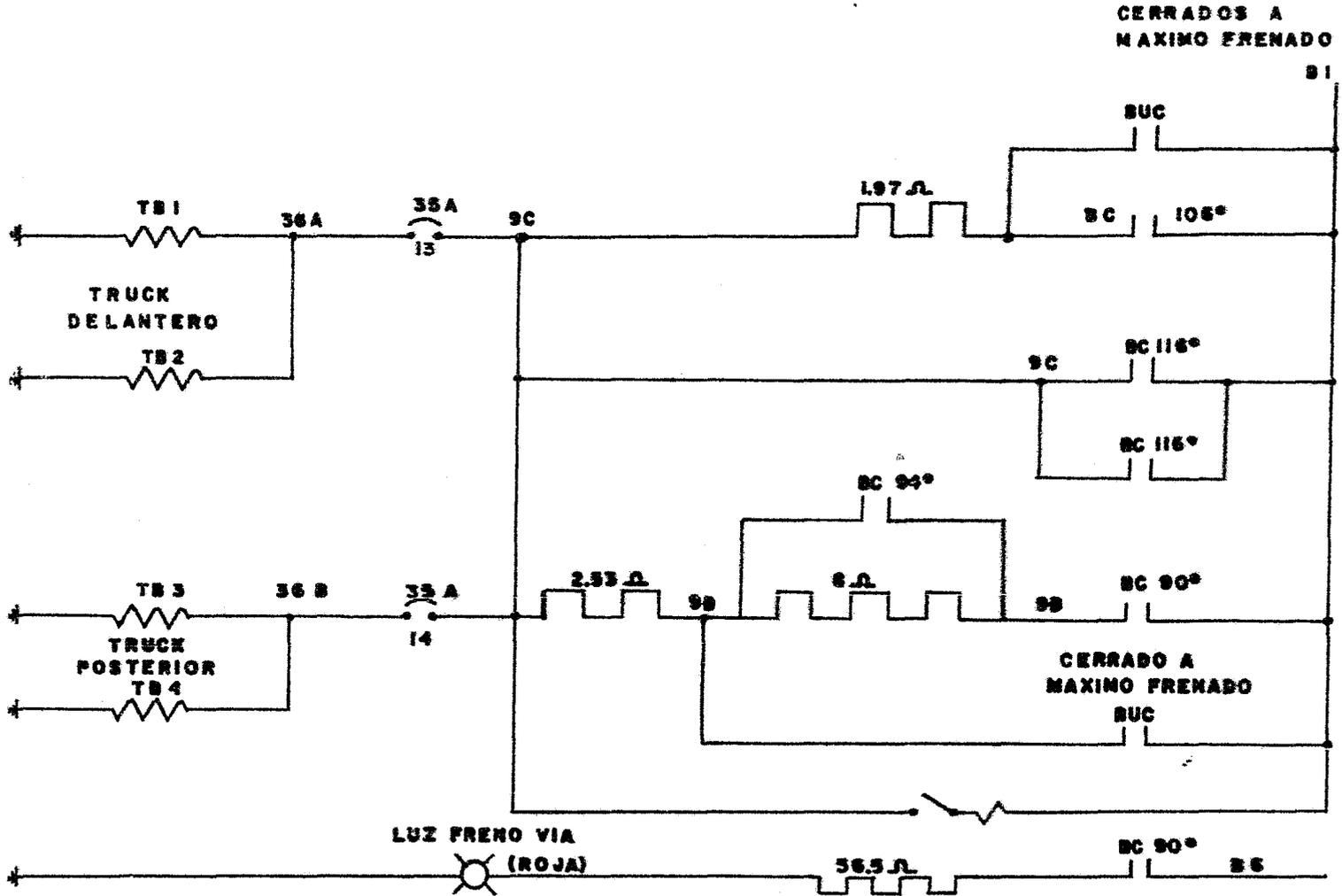


Figura No. 24

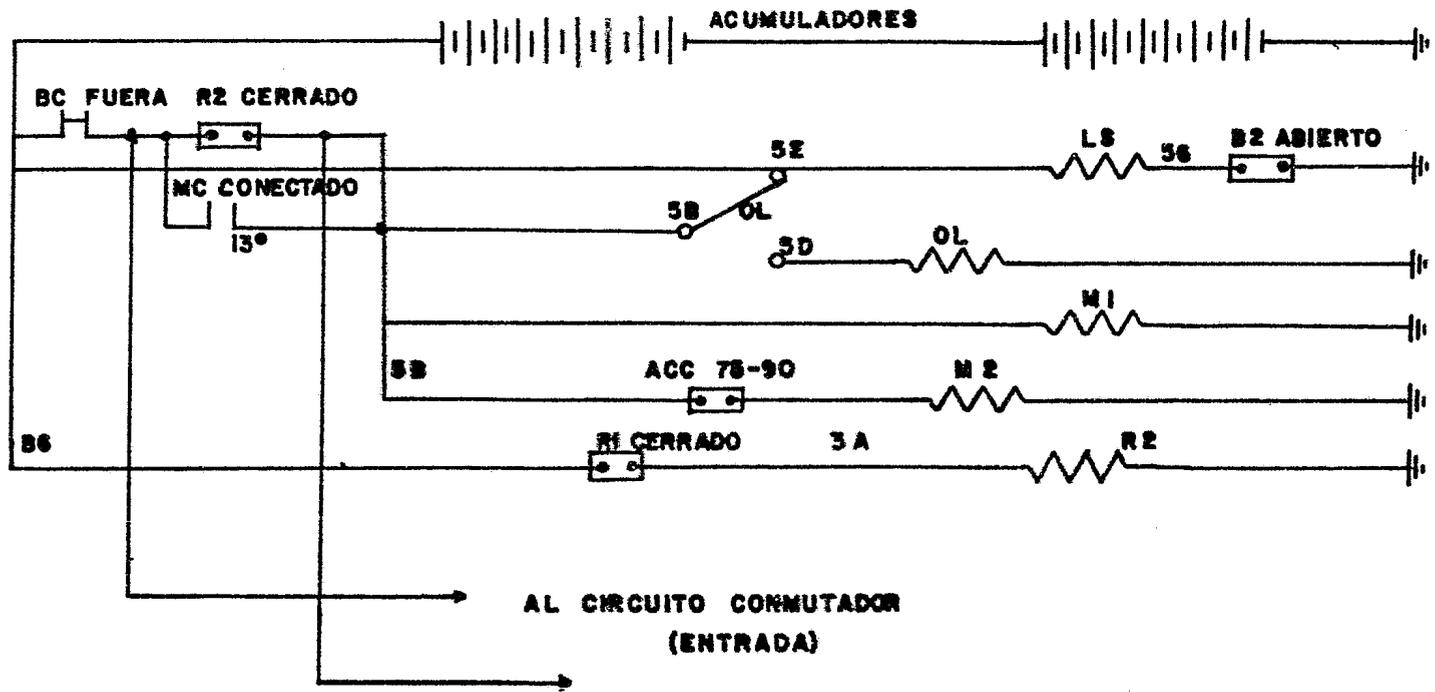


Figura No. 25

Si se continúa girando el árbol de levas ( 9B-9D ) eliminará la -- resistencia de 8 Ohms permitiendo una mayor circulación de co-- rriente y como consecuencia un campo magnético mas intenso en - los electroimanes.

Al llegar a los 106 grados el árbol de levas de frenado cerrará el interruptor de leva ( BI-9A ) cambiando la resistencia de 2.53 -- Ohms por una de 1.97 Ohms, siendo la intensidad de frenado aún mayor.

Finalmente en 116 grados se elimina por completo la resistencia -- por medio de dos interruptores de levas ( BI-9C ) conectadas en pa- ralelo, obteniéndose así la máxima intensidad de frenado.

El interruptor del pedal de seguridad # 5, cuando cierra, también aplica la máxima intensidad de frenado.

Ver figura # 25 .

El sistema de señalización y de conexión de las diferentes etapas puede tener una presentación embutida en el tablero de control pa- ra que esté a la vista del conductor y se detecte cualquier falla en el sistema. Esto se puede distribuir como se muestra en la si -- guiente figura:

( Ver figura No. 26 )

## SISTEMA DE SEÑALIZACION

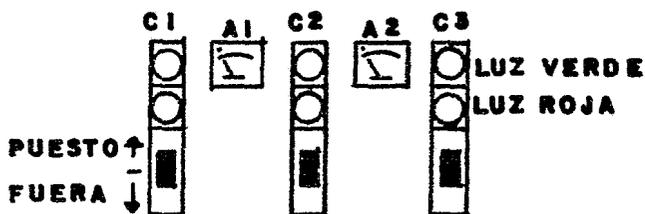


Figura No. 26

**C1- CONTROL DEL PRIMER TRANVIA**

**C2- CONTROL DEL PRIMER REMOLQUE**

**C3- CONTROL DEL SEGUNDO REMOLQUE**

**A1- AMPERIMETRO ENTRE EL TRANVIA 1-2**

**A2- AMPERIMETRO ENTRE REMOLQUES 1-2**

**LUZ VERDE- TRANVIA FUNCIONANDO**

**LUZ ROJA - TRANVIA DESCONECTADO**

**PUESTO- CONECCION A LA FUENTE DE ALIMENTACION**

**FUERA - DESCONECCION DE LA FUENTE DE ALIMENTACION**

## SUBESTACION

Introducción. -

Una subestación eléctrica se define como el conjunto de elementos que nos permiten cambiar las características eléctricas en los sistemas eléctricos de potencia, tales como frecuencia, voltaje, etc.

Debido a estas características se clasifican en diferentes tipos que son:

1. - Por su tipo de operación pueden ser de corriente alterna o corriente directa.
2. - Por su función, pueden ser receptoras, de enlace, reductoras, distribuidoras y rectificadoras.
3. - Por su construcción, del tipo interior, intemperie y blindadas.

Los elementos principales que constituyen una subestación son:

Transformadores de Potencia.  
Transformadores de Servicio Propio.  
Interruptor de Potencia.  
Portafusibles.  
Cuchillas desconectadoras.  
Cuchillas de prueba.  
Apartarrayos.  
Tableros de control, Protección y Medición.  
Tableros de servicio de D.C. y A.C.  
Banco de Condensadores.  
Transformadores de Instrumento.  
Banco de baterías.  
Cables de potencia.  
Cables de Control.  
Alumbrado.  
Estructuras.  
Equipo contra Incendios.  
Sistema de Tierra.  
Intercomunicación.  
Trincheras, Ductos, Cajas y Drenaje.  
Cercas Perimetrales y de protección.

Todas las subestaciones son diseñadas en base a la potencia y al voltaje al cual operarán sin olvidar la corriente de circuito corto que deberán soportar.

El principal elemento que constituye la subestación, es sin duda el equipo de transformación y después el de interrupción y desconexión. Este puede ser de muchas formas y arreglos según sea el caso en particular.

Por ejemplo si el sistema es de barras colectoras simples, entonces se contará con un interruptor principal y uno o varios interruptores de potencia secundarios según sea el arreglo. Los arreglos de desconexión o interrupción en las subestaciones, varían según sea el grado de complejidad que se tenga, de acuerdo al sistema y/o el voltaje de operación de la misma.

La forma de interrupción se efectúa por medio de interruptores de potencia, los cuales se clasifican según la forma de extinguir el arco y que puede ser en vacío, también en pequeño volumen de aceite, en aire con energía almacenada, etc. todo este tipo de interruptores operan bajo carga. La desconexión del sistema se hace por medio de cuchillas desconectadoras que generalmente operan sin cargarse más sin embargo se les puede agregar algunos aditamentos y hacerlas operar con carga.

La subestación siempre está en función del arreglo de las barras, ya que estas nos harán unir todos los circuitos necesarios, los arreglos pueden ser como sigue:

#### SISTEMA DE BARRA SIMPLE SISTEMA DE BARRA DOBLE

Con estos dos sistemas de barras se pueden hacer una infinidad de arreglos según sea la carga de que se trate, así como la flexibilidad, la continuidad y seguridad que queramos que tenga el sistema.

El transformador es el punto más importante de toda subestación.

Los transformadores se clasifican de la siguiente manera.

1. - Por su número de fases pueden ser: Monofásico Trifásico.

2.ª- Por el tipo de núcleo que se fabrica: Del tipo de columna o del tipo acorazado.

3.ª- Por su forma de enfriamiento pueden ser: Por aceite, aire y/o agua.

4. - Por el refrigerante de su aislamiento: De aislamiento tipo seco o del tipo sumergido en aceite.

5.ª- Por el uso pueden ser de interior o interperie.

Los transformadores se construyen de diferentes tamaños y según sea la carga pueden ser de alumbrado, para distribución, para potencia.

Los transformadores de alumbrado, generalmente, son del tipo seco y su capacidad varía de 2 a 112.5 KVA.

Los transformadores de distribución son del tipo sumergidos en aceite y enfriamiento con aire, su capacidad varía de 10 a 500 KVA.

Los transformadores de potencia pueden ser similares a los anteriores pero su capacidad varía y pueden llegar a fabricarse hasta varios cientos de KVA, su enfriamiento pueden ser combinaciones de aceite-aire, aire forzado y agua forzada, etc.

La capacidad de los transformadores se define como los KVA que el devanado secundario es capaz de soportar por un tiempo determinado bajo condiciones de diseño dadas, sin que su temperatura promedio de operación sea mayor de 65° C con una temperatura ambiente de 30° C promedio y 40° C máxima, para calcular los KVA de transformación y estos se calculan de la siguiente manera.

$$KVAT = \text{Carga instalada} \frac{\text{factor de demanda}}{\text{factor de diversidad}}$$

El factor de demanda será igual a la relación que exista entre, la demanda máxima de un sistema y la carga total conectada de dicho sistema.

El factor de diversidad es la relación que existe entre la suma de las demandas máximas individuales de varias subdivisiones de un siste-

na y la demanda máxima de todo el sistema.

## APARTARRAYOS

Los apartarrayos o descargadores de sobretensión son aparatos eléctricos, cuya función es la de proteger el transformador y la instalación eléctrica contra los efectos de las sobretensiones no permitidas.

En una instalación se pueden presentar sobretensiones internas y externas, las primeras se presentan durante maniobras de conexión y/o desconexión, su duración es de milisegundos y su valor depende del voltaje de operación y de la forma en que se aterriza el neutro de las sobretensiones externas, se presentan por efectos de descargas atmosféricas sobre las líneas aéreas y en general sobre las instalaciones de interperie..

## CONSTRUCCION

Un apartarrayo está formado generalmente de una serie de cámaras de arco, limitadoras de corriente colocadas una sobre otra.

En paralelo a las cámaras de arco se encuentra colocada una resistencia no lineal. La función de una cámara de arco es que en el momento en que la tensión sobrepase un determinado valor inmediatamente se enciende un arco entre los bornes propiciando que la sobretensión se descargue a través de las mismas cámaras, así como también de la resistencia no lineal.

El elemento más importante del descargador de sobretensión es un explosor de gran capacidad para limitar la corriente. En este explosor el arco eléctrico se desvía inmediatamente después de haberse formado a una cámara de extinción por efecto del campo eléctrico de una bobina.

La cámara de extinción del explosor está construida por un material cerámico que adquiere en un proceso especial de calcinación, diferentes propiedades decisivas para su extinción eficaz y rápida, así como para una buena capacidad para conducir la corriente.

Las paredes de la cámara son permeables, de manera que los gases calientes puedan pasar al exterior durante el desplazamiento del arco eléctrico, y enfriarse intensamente.

#### 5.4 CLASIFICACION. -

Una subestación eléctrica es un conjunto de máquinas, aparatos y circuitos que tienen la función de modificar los parámetros de la potencia eléctrica (tensión y corriente) y de proveer un medio de interconexión y despacho entre las diferentes líneas de un sistema.

Clasificación de las subestaciones eléctricas de acuerdo a su construcción. -

SUBESTACIONES	Intemperie o Exterior
	Interior
	Blindadas

Subestación tipo interperie. - Es aquella en la que los elementos que la constituyen están instalados al aire libre.

Subestación tipo Interior. - Son aquellas en las que los elementos que las constituyen están instalados en el interior de edificios apropiados.

Subestación tipo Blindada. - Son en realidad subestaciones eléctricas reductoras pero construidas de tal forma que sus partes están cubiertas dentro de gabinetes de los cuales sobresalen los frentes de los instrumentos de medición, palancas de operación y partes correspondientes para reposición de piezas por el sistema de clavijas.

Estas presentan ciertas ventajas que son aprovechadas al máximo, - el ocupar un espacio reducido, proporcionando un máximo de seguridad al estar cubiertas las partes vivas además, pueden ser removidas según sea necesario.

Clasificación de las subestaciones eléctricas de acuerdo a su utilización. -

Subestación Elevadora. - Es aquella en la cual la tensión de salida es mayor que la tensión de alimentación.

Subestación de Interconexión. - Es aquella que une diferentes líneas de transmisión de alta tensión, directamente, si estas líneas tienen la misma tensión de servicios o por medio de transformadores de potencia, elevadores o reductores.

Subestación Reductora. - Es aquella en la cual la tensión de salida es menor que la tensión de alimentación.

Subestación Primaria o Transmisión. - Este tipo de Subestaciones eléctricas se emplean debido a que por razones técnicas y económicas tenemos que elevar la tensión de generación para poder transmitir energía eléctrica a los centros de consumo.

Subestación de Distribución. - Este tipo de subestación es empleada para realizar la energía del sistema de distribución por los equipos instalados en el establecimiento del usuario.

## 5.5 SISTEMA DE TIERRAS

A). -Generalidades. -

1. - Objeto y Naturaleza del problema del sistema de tierras. -

De manera general se concibe que el objeto de un sistema de tierras es proporcionar seguridad al personal, proteger equipos y mejorar la calidad del servicio tanto en condiciones de funcionamiento normal como de fallas en los sistemas.

En toda planta o subestación eléctrica, uno de los aspectos principales para protección contra las sobretensiones es disponer de una red de tierras adecuada a la cual se conectan todos los neutros del sistema - cuando así se requiera, caracazas de los equipos, estructuras metálicas y todas aquellas partes que requieran estar a potencial de tierra.

El problema de los sistemas de tierras presenta cierta complejidad-- debido principalmente a las características poco homogéneas del te--- rreno y sobre todo al escaso conocimiento que de ellos se tiene. Por otro lado, las condiciones que se establecen en el caso de fallas de ais lamiento son difícilmente predecibles y no pueden integrarse en las -- ecuaciones de cálculo.

2. - Factores que deben tomarse en cuenta en el diseño de un sistema de tierras. -

Como se mencionó en el inciso 1. - tres son los factores principales -- que siempre deberán tomarse en cuenta en el diseño de un sistema de tierras:

a). - Seguridad del personal. -

Es esencial que tanto en condiciones normales como de falla, no circule ninguna corriente que pudiera ser mortal a través del equipo al cual tenga acceso el personal.<sup>2</sup> El voltaje que pudiera existir en la carcasa de un equipo con respecto a tierra, no es una medida del peligro existente; el criterio que se debe seguir y tomar en cuenta que es la diferencia de potencial entre cualquiera de dos puntos que pudieran ser tocados simultáneamente por una persona.

El objetivo por lo tanto debe ser, de asegurarse de que haya una conexión efectiva de muy baja impedancia y de una capacidad de corriente adecuada entre los dos puntos que pueden ser tocados simultáneamente por una persona y diseñar un arreglo de tal forma ( tanto como sea posible ) que la principal corriente de falla a tierra no fluya únicamente entre tales puntos.

b). - Prevención de daño al equipo. -

Es deseable bajo condiciones de falla limitar tanto como sea posible, - el voltaje que aparece entre las carcasas de los equipos y la malla --- principal de tierras cuando circula una corriente de falla.

c). - Operación satisfactoria de los equipos de protección. -

Siempre que se tengan equipos de protección y que se utilicen las corrientes de falla a tierra para su operación, se debe considerar la intensidad de la misma, ya que de ésta depende su correcto funcionamiento y con esto la eliminación adecuada de las fallas en los sistemas para obtener una mejor calidad en el servicio.

### 3. - Disposiciones básicas de las redes de tierra. -

Para las redes de tierra se han considerado básicamente tres sistemas de tierra:

- a). - Sistema Radial.
- b). - Sistema en Anillo.
- c). - Sistema de Malla.

El sistema radial es el más barato pero el menos satisfactorio ya que al producirse una falla en un aparato, se producen grandes gradientes de potencial. Este sistema consiste en uno o varios electrodos a los cuales conectan las derivaciones a cada aparato.

El sistema de anillo se obtiene colocando en forma de anillo un cable de cobre de suficiente calibre alrededor de la superficie ocupada por el equipo de la planta o subestación y conectando derivaciones a cada aparato, usando cable más delgado. En un sistema económico y eficiente; en él, se eliminan las grandes distancias de descarga a tierra del sistema radial. Los potenciales peligrosos son disminuidos al dispersarse la corriente de falla por varios caminos en paralelo.

El sistema de malla es el más usado actualmente en nuestros sistemas eléctricos; consiste, como su nombre lo indica, en una malla formada de cable de cobre y conectada a través de electrodos ( varillas ) a partes más profundas para buscar zonas de menor resistividad.

Este sistema es el más caro, pero también, el más eficiente de los tres tipos.

### 4. - Elementos de una red de Tierras. -

Los elementos que constituyen una red de tierras son:

a). - Conductores.-

Los conductores utilizados en las redes de tierra son de cable de cobre desnudo de calibres adecuados, dependiendo del sistema que se utilice. Se ha escogido el calibre 2/0 AWG en conductores de cobre por razones mecánicas ya que eléctricamente, pueden usarse cables de cobre hasta del número 2 ó 4 AWG. Para sistemas en anillo se ha usado cable de cobre de 500 MCM y, en cambio, para el sistema de malla se está utilizando en la actualidad cable de cobre calibre 2/0 o 4/0 AWG.

Se utiliza el cobre por su mejor conductividad, tanto eléctrica como térmicamente, y además, por ser resistente a la corrosión.

b). - Electrodo. -

Son varillas que se "clavan" en el terreno y que sirven para que la malla esté en contacto con zonas más húmedas del subsuelo y por lo tanto con menor resistividad eléctrica. Son especialmente importantes en terrenos desprotegidos de vegetación y cuya superficie, al quedar expuesta a los rayos del sol, está completamente seca. Los electrodos pueden ser fabricados con varillas de fierro galvanizado o bien varillas tipo "copperweld".

En el caso de varillas de fierro galvanizado pueden usarse en terrenos donde la construcción química no afecte a dicho material. En terrenos cuyas componentes son más corrosivas, se utilizan las varillas tipo "copperweld". Una varilla de este tipo consiste en una varilla de fierro a la cual se adhiere un recubrimiento de cobre, este cobre está soldado en forma continua a la varilla de fierro. Este material combina las ventajas del cobre con la alta resistencia mecánica del fierro, tiene buena conductividad, excelente resistencia a la corrosión y buena resistencia mecánica para ser clavada en el terreno.

c). - Conectores y Accesorios. -

Son aquellos elementos que nos sirven para unir los conductores de la red de tierras, además de conectar las varillas o electrodos y los conductores derivados de equipos y estructuras de la red. Los conectores

utilizados en los sistemas de tierra son principalmente de tres tipos:

- c. 1.). - Conectores Mecánicos.
- c. 2.). - Conectores Soldables.
- c. 3.). - Conectores a Presión.

\* Todos los tipos de conectores deben de soportar la corriente de la red de tierras en forma continua

Los conectores mecánicos están formados generalmente por dos piezas las cuales se unen por medio de tornillos, sus características son: facilidad de instalación pues pueden desconectarse de la red para poder hacer mediciones en la misma. Tienen algunas veces problemas de corrosión lo cual se elimina dándole un tratamiento especial a la junta.

Los conectores mecánicos deberán ser, cuando sea posible, accesibles para inspección y mantenimiento. Se ha incrementado el uso de los conectores soldables debido al ahorro de tiempo y de costo que se obtiene al realizar muchas conexiones. Con este tipo de conectores se obtiene una conexión permanente, eliminando además la resistencia de contacto, está relativamente libre de corrosión y permite el uso de conectores pequeños debido a su máxima limitación de temperatura (  $450^{\circ}$  ) comparado con la máxima permitida para los conectores mecánicos (  $250^{\circ}$  ) sin embargo, tienen algunas limitaciones: No tienen medios para separarlos y poder hacer mediciones en la red, lo cual indica que habría que usar conectores mecánicos en algunas partes de la red para poder realizar dichas mediciones, no se pueden usar en presencia de atmósferas volátiles o explosivas.

Los conectores soldables se usan generalmente en las instalaciones que van enterradas y aquellas en donde el conductor de tierra no va a ser separado de los equipos como, por ejemplo, para mantenimiento cambio frecuente de posición, etc. . Los conductores a presión son los más económicos, fáciles de instalar presentando algunas desventajas tales como la de no poder desconectarse de la red para hacer mediciones y problemas de corrosión.

## 5. 6 . - PROCEDIMIENTO PARA EL CALCULO DE UN SISTEMA DE TIERRAS. -

Con los potenciales tolerables de paso y de contacto calculados podemos diseñar y construir un sistema de tierra siguiendo los siguientes pasos:

- a). - Investigación de las características del terreno.
- b). - Determinación de la corriente máxima de falla a tierra.
- c). - Diseño preliminar del sistema de tierras.
- d). - Cálculo de la resistencia del sistema de tierras.
- e). - Cálculo del máximo aumento de potencial en la red.
- f). - Cálculo de los voltajes de paso en la periferia.
- g). - Investigación de los potenciales de transferencia.
- h). - Corrección o refinamiento del diseño preliminar como se indicó en los puntos f y g.
- i). - Construcción del sistema de tierras.
- j). - Mediciones en campo de la resistencia del sistema de tierras.
- k). - Revisión de los puntos e, f y g basados en las mediciones actuales.
- l). - Modificación del sistema de tierras. (si procede), de acuerdo con lo obtenido en el punto k.

Varios de los puntos descritos arriba pueden usarse para verificar la seguridad de plantas o subestaciones existentes y aplicar, si se requiere medidas correctivas apropiadas. Para minimizar el tiempo de cálculo, algunos diseñadores prefieren suponer un voltaje de malla máximo permisible y calcular la longitud mínima requerida para el conductor de tierra.

## 5.7 .- EQUIPOS QUE DEBEN CONECTARSE A TIERRA

Deberán conectarse a tierra para evitar que en algún momento puedan quedar a un potencial diferente del de tierra y ser tocados por el personal los siguientes equipos:

1. - Estructuras de edificios. - Deberán conectarse a tierra mediante cable de cobre empleando de preferencia conectores soldables por fusión, deberán conectarse las columnas de las esquinas y las intermedias que así lo requieran para tener las conexiones a distancias que no excedan de 20 mts.

2. - Estructuras de subestaciones así como los equipos metálicos que se encuentren ahí instalados.

3. - Cercas metálicas. en las subestaciones. - Deberán conectarse los postes de las esquinas así como las puertas a los postes para permitir una continuidad eléctrica en las mismas.

4. - Recipientes metálicos y equipo industrial o de proceso, para los que se usará de preferencia conectores soldables del tipo cable a pla

5. - Vías de ferrocarril. -
6. - Cubiertas metálicas que contengan o protegan equipo eléctrico -- tales como conformadores o tableros los que deberán conectarse en dos puntos de la red.
7. - Carcazas de motores y generadores, independientemente del tamaño y tensión.
8. - Estaciones de botones o equipo de control cuando así se requiera.
9. - Ductos y charolas metálicas para cables.
10. - Blindajes y flejes de armado de los cables así como las cubiertas de plomo de los mismo.
11. - Carcazas del equipo eléctrico portátil. - Estas quedarán conectadas a tierra a través de los contactos polarizados a los que se conectan.
12. - Tuberías Conduit y tuberías de proceso a menos que los soportes de las mismas estén conectados firmemente a tierra.
13. - Carros tanque y autos tanque al momento de la descarga.
14. - Neutros de generadores y transformadores (cuando así se requiera).
15. - Apartarrayos y Equipos supresores de sobretensiones.

### 5.8. - OBTENCION DE LA POTENCIA APORTADA POR LAS SUBESTACIONES EXISTENTES. -

Para éste cálculo se pueden seguir dos métodos:

1.- Multiplicar la potencia máxima desarrollada por un carro, por el número máximo de carros, éste producto por un factor tomado de datos experimentales de líneas similares (S.T.E. del D.D.F.) y finalmente dividiendo entre la eficiencia de la línea.

2.- A partir de las curvas características del tranvía, encontrar la corriente promedio ( para una velocidad promedio dada y espacio entre dos paradas consecutivas promedio ), multiplicada por el voltaje de la línea y por el número de carros en operación, más las pérdidas ( $i^2 R$ ) en alimentadores, alambre de trole, y rieles.

Para el inciso 1). -

$$\text{Pot. de demanda actual} = \frac{\text{Pot. máx. des. por carro (\# de carros)(Fact.)}}{\text{Eficiencia de la línea.}}$$

Pot. máx. por carro = Voltaje de la línea por Corriente máxima.

donde :

Voltaje de línea = 600 Volts.

Corriente Máxima = 300 Amperes.

Factor = 0.4 (factor tomado de datos experimentales de la línea Taxqueña-Xochimilco y viceversa S.T.E. del D.D.F.)

Eficiencia de la Línea = 0.85 (dato real aprox. proporcionado por S.T.E.)

Por lo tanto:

$$\text{Pot. máx. por carro} = \frac{600 (300)}{1000} = 180 \text{ KW.}$$

$$\text{Pot. de Demanda Actual} = \frac{180 (30) (0.4)}{0.85} = 2541.17 \text{ KW.}$$

Para el inciso 2). -

Obtener la curva VELOCIDAD-TIEMPO proporcionada por el fabricante de los tranvías, así como los datos del problema y con la ayuda de dicha curva, trazar la de corriente-tiempo ( tabulando sucesivamente los valores corriente-velocidad, obtenidas de lecturas tomadas directamente de un tranvía ).

Una vez trazada la curva Corriente-Velocidad correspondiente a un ciclo de operación, se obtendrá el área bajo dicha curva, la cual representa la energía consumida por carro entre dos paradas sucesivas; dividiendo dicha energía entre la duración del ciclo, se tendrá la potencia promedio por carro ( multiplicando la corriente promedio por el voltaje de línea ).

Con éste valor se procederá a calcular la demanda de potencia del sistema, multiplicando por el número de unidades, para obtener finalmente, la potencia necesaria a la salida de las subestaciones ( agregando las pérdidas por efecto de Joule de alimentadores alambres de trole y rieles ).

Tomando en cuenta los siguientes datos:

- a). - Velocidad promedio del tranvía: 33 Km/hr. durante el recorrido total del circuito Taxqueña-Xochimilco.
- b). - Aceleración máxima positiva: 5.62 Km/hr./seg.
- c). - Aceleración (Negativa ) durante la carrera libre: - 0.61 Km/hr./seg.
- d). - Aceleración (Negativa ) máxima de frenado: -6.44 Km/hr./seg.
- e). - Número total de paradas a lo largo del circuito: 50.
- f). - Duración promedio de cada parada: 10 seg.
- g). - Longitud total del circuito: 32 000 mts.
- h). - Voltaje de la línea: 600 Volts.
- i). - Número de carros en la línea: 35.  
( Datos obtenidos del S.T.E. del D.D.F.).

Trazado de la curva Velocidad-Tiempo:

- a). - De las curvas características Velocidad-Tiempo y Espacio-Tiempo proporcionada por el fabricante ( Westinghouse ) se obtiene el segmento OAB.

b). - El punto I queda definido por la duración total del ciclo ( 69.81-seg. ) .

Por lo tanto, el punto D ( instante en que se detiene el tranvía ) se obtendrá restando 10 seg. que es la duración del paro o sea 59.81 seg. - ambos serán con velocidad 0.

c). - Por el punto D se levanta una recta cuya pendiente será igual a -6.44 o sea, la aceleración máxima negativa de frenado.

d). - Para definir los puntos B y C, falta trazar una recta cuya pendiente sea de -0.61 ( aceleración en carrera libre ) por tanteos sucesivos se irán trazando varias rectas con dicha pendiente, hasta encontrar una que cumpla la siguiente condición:

Area OABCD =  $33 ( 69.81 ) = 2303.73 U^2$   
(ya que se tomó una velocidad promedio de 33 Km/hr.)  
y de los datos se obtienen:

$$L = \frac{32000}{50} = 640 \text{ mts.}$$

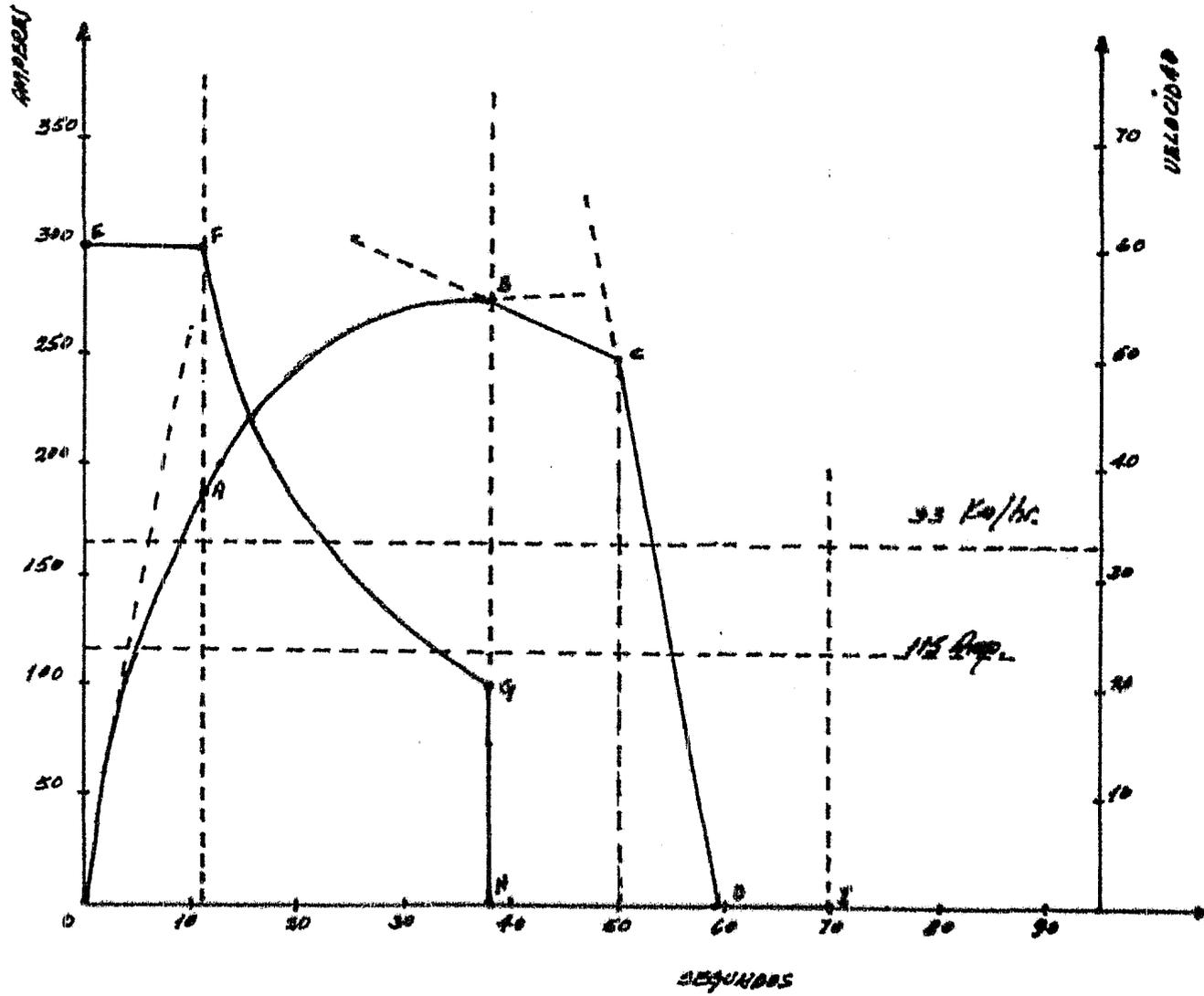
$$T(\text{Un Ciclo}) = \frac{0.64 (3600)}{33} = 69.81 \text{ seg.}$$

Una vez obtenida la curva velocidad-tiempo de un ciclo de operación se trazará la correspondiente corriente-tiempo . De varias pruebas realizadas directamente de un tranvía se obtuvieron diferentes valores de corriente velocidad ( Aceleraciones máximas ). Promediando los valores obtenidos de corriente para cada velocidad y representando gráficamente en correspondencia con la curva velocidad-tiempo obtenemos la curva - EFGHI . Finalmente, dividiendo el área bajo la curva obtenida entre --- 69.81 obtenemos la corriente promedio por ciclo o sea:

$$I_{\text{prom.}} = 8077.5 / 69.81 = 115 \text{ Amps.}$$

$$\text{Pot.}_{\text{prom.}} = (600) (115) / 1000 = 69 \text{ KW.}$$

-16-



5.9. - DEMANDA DE POTENCIA POR CADA SECCION.

Espacio entre 2 carros consecutivos = Long. Total/Núm. de Carros

$$= 32000/35$$

$$= 915 \text{ metros.}$$

Con los datos anteriores y suponiendo cargas uniformemente repartidas a lo largo del circuito Taxqueña-Xochimilco la potencia demandada será:

Sección	Longitud Efectiva(mts.)	Número Aprox. de Carros	Demanda de Potencia	Subestación Correspond.
A (Taxqueña-Xochimilco)	4600	10	690	Taxqueña
B (Clasa-Paseo de la Virgen)	4900	11	759	Clasa
C (Paseo de la Virgen-Xochimilco)	6500	14	966	Xochimilco
Total	16000	35	2415	

32000 ----- 35  
4600 ----- X

$$X = 5.03 (2) = 10$$

32000 ----- 35  
4900 ----- X

$$X = 5.36 (2) = 11$$

32000 ----- 35  
6500 ----- X

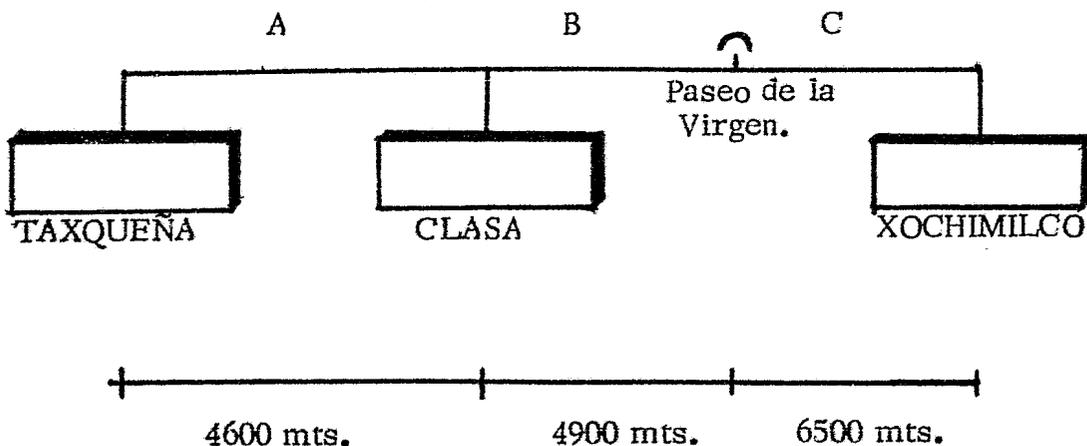
$$X = 7.11 (2) = 14.22 = 14$$

Tomando la Potencia Promedio igual a 69 KW.

$$69 (10) = 690 \text{ KW.}$$

$$69 (11) = 759 \text{ KW.}$$

$$69 (14) = 966 \text{ KW.}$$



Suestaciones:

Taxqueña.

Clasa.

Xochimilco.

Por lo tanto:

$$\text{Potencia de Demanda Actual} = \text{Demanda Total} + \sum (i^2 R).$$

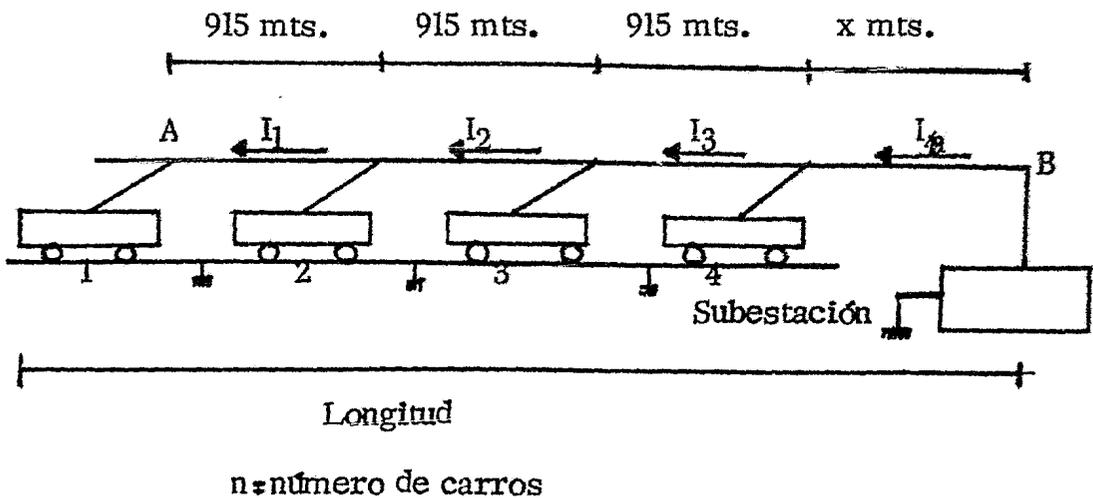
$$\text{Potencia de Demanda Actual} = 2415 + \sum (i^2 R).$$

### 5.10 . - CALCULO DE LAS PERDIDAS ( $i^2 R$ ) EN ALIMENTADORES-TROLES Y RIELES. -

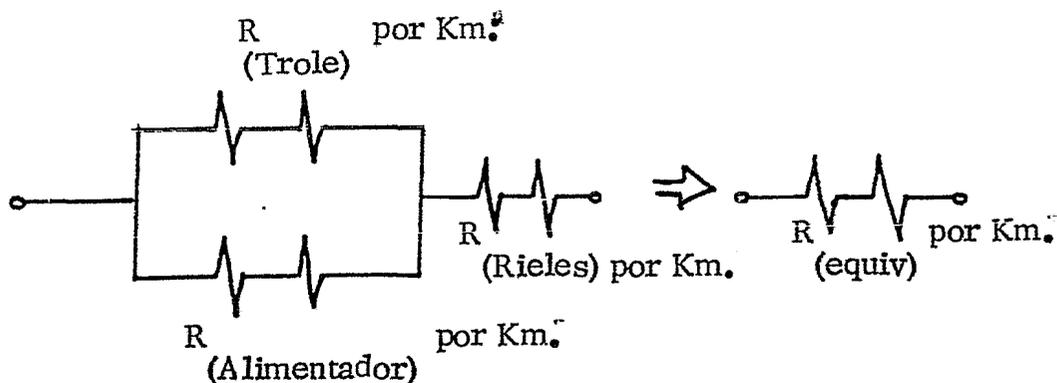
Para el cálculo de las pérdidas en cada sección, se harán las siguientes suposiciones:

- 1). - La resistencia en los alimentadores y alambre de trole permanece constante y a un promedio de temperatura de  $50^{\circ} C$ .
- 2). - El circuito eléctrico de cada sección se cierra por los rieles despreciando las corrientes en derivación por cañerías próximas, tomando la resistencia constante (Se carece de datos reales).
- 3). - Se calcularán las pérdidas a partir de la corriente promedio por tranvía anteriormente calculada (115 Amps).
- 4). - Se tomarán los casos críticos en cada sección en cuanto a carga se refiere es decir, en el caso que un carro esté localizado en un momento dado en el extremo de un alimentador y a partir de este los restantes espaciados 915 mts. (espacio promedio calculado).
- 5). - Se tendrá un solo alimentador en el sentido Taxqueña-Xochimilco y un solo alimentador en el sentido Xochimilco-Taxqueña.
- 6). - El voltaje permanece constante a la salida de las subestaciones y con un valor de 600 Volts.

De acuerdo con lo anterior cada tramo de las secciones se calculará de acuerdo con el caso general, o sea:



por lo tanto tendremos el circuito equivalente:



Como todas las secciones tienen el mismo calibre de alimentador, --- Alambre de trole así como rieles de la misma sección y peso, se tendrán los mismos valores de resistencias:

Alambre de trole, ranurado, 2/0 (Anaconda)  $R_{50^{\circ}} = 0.2539$  Ohms/Km

Cable alimentador, 19 hilos, 500 MCM  $R_{50^{\circ}} = 0.07954$  Ohms/Km

Vía (dos rieles) anclada con durmientes de madera

Rieles de 70 lb/yd. (incluyendo ligaduras)  $R = 0.0218$  Ohms/Km.

Los dos primeros datos (Trole y Cable alimentador) fueron tomados del catálogo: Alambre y cable desnudos ANACONDA PIRELLI/Sec. I.

La resistencia de la vía, se tomó del "Standar Hanbook for Electrical - Engineers" A.E. Knowlton, Secc. 19.

Por lo tanto la resistencia equivalente será:

Datos:

$$R_{(Trole)} = 0.2539 \text{ Ohms/Km.}$$

$$R_{(Alimentador)} = 0.0795 \text{ Ohms/Km.}$$

$$R_{(Rieles)} = 0.0218 \text{ Ohms/Km.}$$

Sustituyendo valores:

$$R_{\text{equiv.}/\text{Km}} = \frac{0.0795(0.2539)}{0.0795 \text{ O. } 2539} + 0.0218 = 0.0823 \text{ Ohms/Km.}$$

Por lo tanto:

$$R_{\text{equiv}/\text{Km.}} = 0.0823 \text{ Ohms/Km.}$$

$$\sum (i^2 R)_A^B = \frac{R_{\text{equiv}/\text{Km}}}{1000} (0.915 I_1^2 + 0.915 I_2^2 + 0.915 I_3^2 \dots + 0.915 I_n^2 + I_n^2 x). \quad (\text{en KW}).$$

Pero  $I_1 = 115, I_2 = 115.2, I_3 = 115.3; \dots; I_n = 115.n$

Sustituyendo y sacando factor común:

$$\sum (i^2 R)_A^B = \frac{0.0823}{1000} (115)^2 (0.915 + (2)^2 0.915 + \dots + n^2 .x) (\text{en KW})$$

$$x = L - (n-1) 0.915$$

Finalmente reduciendo:

$$\sum (i^2 R)_A^B = 1.0884 (0.915 + 4 (0.915) + \dots + n^2 .x)$$

$$\sum (i^2 R)_A^B = 1.0884 \left( \sum_1^n 0.915 (n-1)^2 + n^2 .x \right) \text{-----} (1)$$

Aplicando la ecuación 1 se obtendrán las pérdidas en el sistema teniendo en cuenta lo siguiente:

Sección A. - Como tenemos 10 carros en operación se tomarán 5 en un carril y 5 en el otro carril.

Sección B. - Como tenemos 11 carros en operación se tomarán 6 en un carril y 5 en el otro carril.

Sección C. - Como tenemos 14 carros en operación se tomarán 7 en un carril y 7 en el otro carril.

Sección A. - (Taxqueña-Clasa)

$$n=10 \quad (5 \text{ por carril})$$

$$L=4.6 \text{ Km}$$

$$x=L-(n-1) 0.915$$

$$x=4.6 - (5-1) 0.915$$

$$x=0.94 \text{ Km.}$$

$$\sum (i^2 R)_A = 2 ( 1.0884 ) ( 0.915 ( 1+4+9+16 ) + ( 25 ( 0.94 ) ) ) = 110.90 \text{ KW}$$

Sección B. - (Clasa- Paseo de la Virgen ).

$$n=11$$

Primeramente consideraremos 6 carros en un carril y posteriormente 5 en el otro carril.

$$n=6 \quad L=4.9 \text{ Km}$$

$$x=L-(n-1) 0.915$$

$$x=4.9 - ( 6-1 ) 0.915$$

$$x=0.33 \text{ Km}$$

$$\sum (i^2 R)_1 = 1.0884 ( 0.915 ( 1+4+9+16+25 ) + ( 36 ( 0.33 ) ) ) = 67.70 \text{ KW}$$

$$n=5 \quad L=4.9 \text{ Km}$$

$$x=L-(n-1) 0.915$$

$$x=4.9 - ( 5-1 ) 0.915$$

$$x=1.24 \text{ Km}$$

$$\sum (i^2 R)_2 = 1.0884 ( 0.915 ( 1+4+9+16 ) + ( 25 ( 1.24 ) ) ) = 63.62 \text{ KW}$$

$$\sum (i^2 R)_B = \sum (i^2 R)_1 + \sum (i^2 R)_2$$

$$= 67.70 + 63.62$$
$$= 131.32 \text{ KW}$$

Sección C: - (Paseo de la Virgen-Xochimilco).

$$n=14 \text{ (7 por carril)} \quad L=6.5. \text{ Km.}$$

$$x=L-(n-1) 0.915$$

$$x=6.5-(7-1) 0.915$$

$$x=1.01 \text{ Km.}$$

$$\sum (i^2 R)_C = 2 (1.0884) (0.915 (1+4+9+16+25+36) + 49 (1.01))$$
$$= 288.98 \text{ KW}$$

Resumiendo los valores de la tabla I obtendremos la aportación de cada Subestación:

SUBESTACION		KW CALCULADOS
Taxqueña		800.9
Clasa		890.32
Xochimilco		1254.98
	Total	2946.20

Por lo tanto la eficiencia general de la red será:

$$\text{Eficiencia} = 2415 / 2946.20 = 0.82$$

$$\text{Eficiencia} = 82\%$$

TABLA I

Sección	Long. Efect	No. Carros	No. de Aliment.	Pérd. (KW)	Demanda (KW)	Subestación
A Taxqueña-Clasa	4600	10	2	110.9	690	Taxqueña
B Clasa-Paseo de la Virgen	4900	11	2	131.32	759	Clasa
C Paseo de la Virgen-Xochimilco	6500	14	2	288.98	966	Xochimilco
Totales	16000	35		531.20	2415	

5. II. - CALCULO DE LA POTENCIA DE FUTURA DEMANDA EN EL-SISTEMA DE CARROS ACOPLADOS. -

La línea de tranvías que se propone tiene los siguientes datos:

Long. Total del circuito	32000 mts.
Velocidad promedio (incluyendo paradas)	33 Km/hr
Intervalos entre 2 trenes consecutivos	2 minutos
Pasajeros transportados diariamente (20 hrs. de Servicio)	200,000
Potencia de demanda actual	2946.2 KW
Número total de paradas	50

La disposición del circuito Taxqueña-Xochimilco se muestra en los planos A, B, C, D y E.

Promedio de carros en la línea. -

$t$  = tiempo que tarda un tren en recorrer el circuito Taxqueña-Xochimilco.

$$t = v/d = 33/32000 = 1.0312 \text{ hrs.}$$

$$1.0312 \text{ hrs.} = 1 \text{ hr. } 1 \text{ min. } 52 \text{ seg.} = 62 \text{ min.}$$

Como los trenes están espaciados 2 minutos se tiene:

$$\text{Núm. de trenes en la línea} = 62/2 = 31$$

Como cada tren consta de tres carros se tendrá:

$$31 (3) = 93 \text{ unidades sencillas en la línea.}$$

Como todos los carros van a funcionar con sus propios motores de tracción, demandará carro la misma corriente que operando independientemente o sea, que cada tren demandará el triple de potencia que un sólo tranvía y por lo tanto, se tendrá:

Pot. de demanda total=93 (69)  
=6417 KW

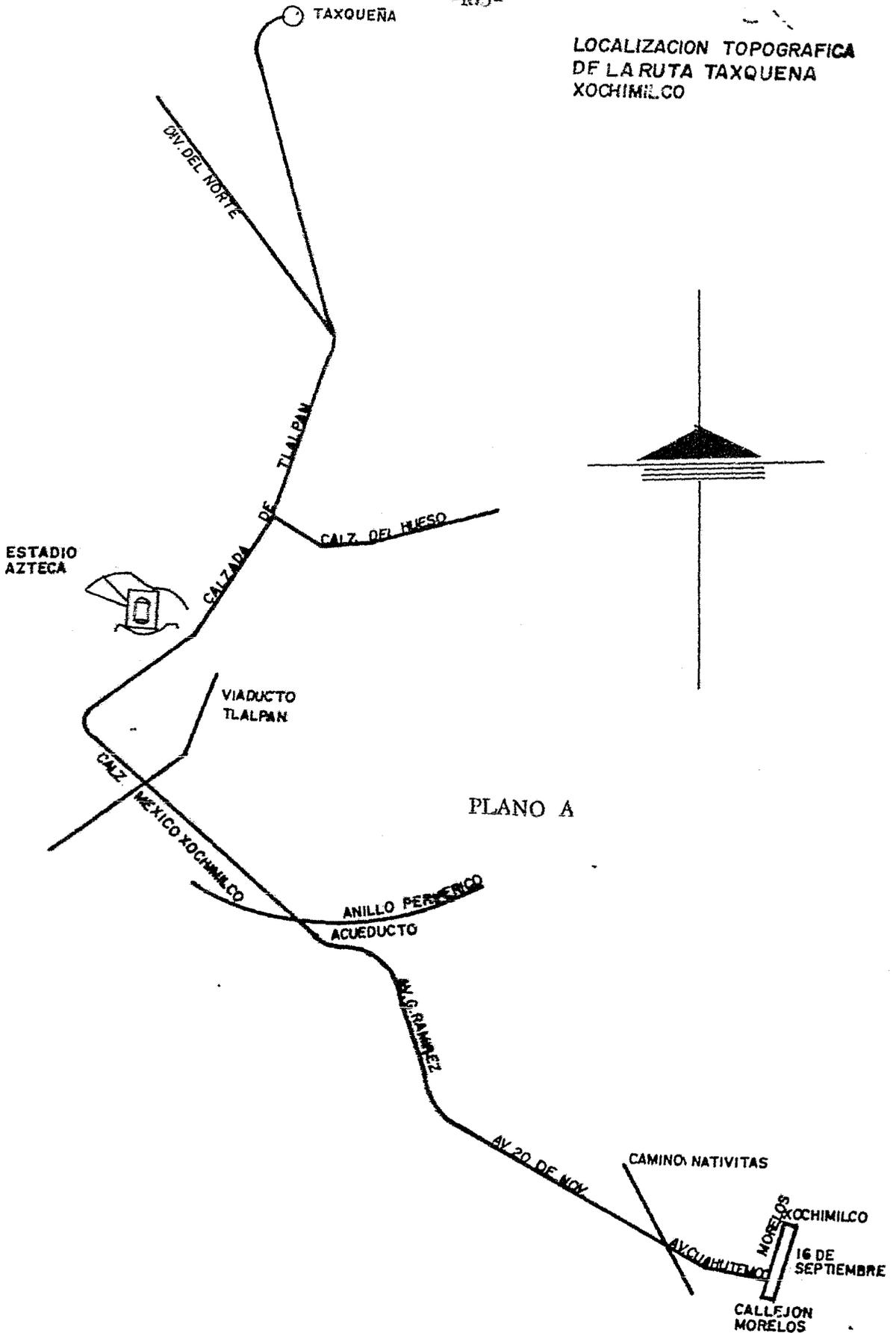
Suponiendo una eficiencia general en la distribución (alimentadores, -  
alambres de trole, rieles etc. ) de 0.8, se necesitará una potencia --  
disponible a la salida de las subestaciones de:

$$6417/0.8 = 7922 \text{ KW}$$

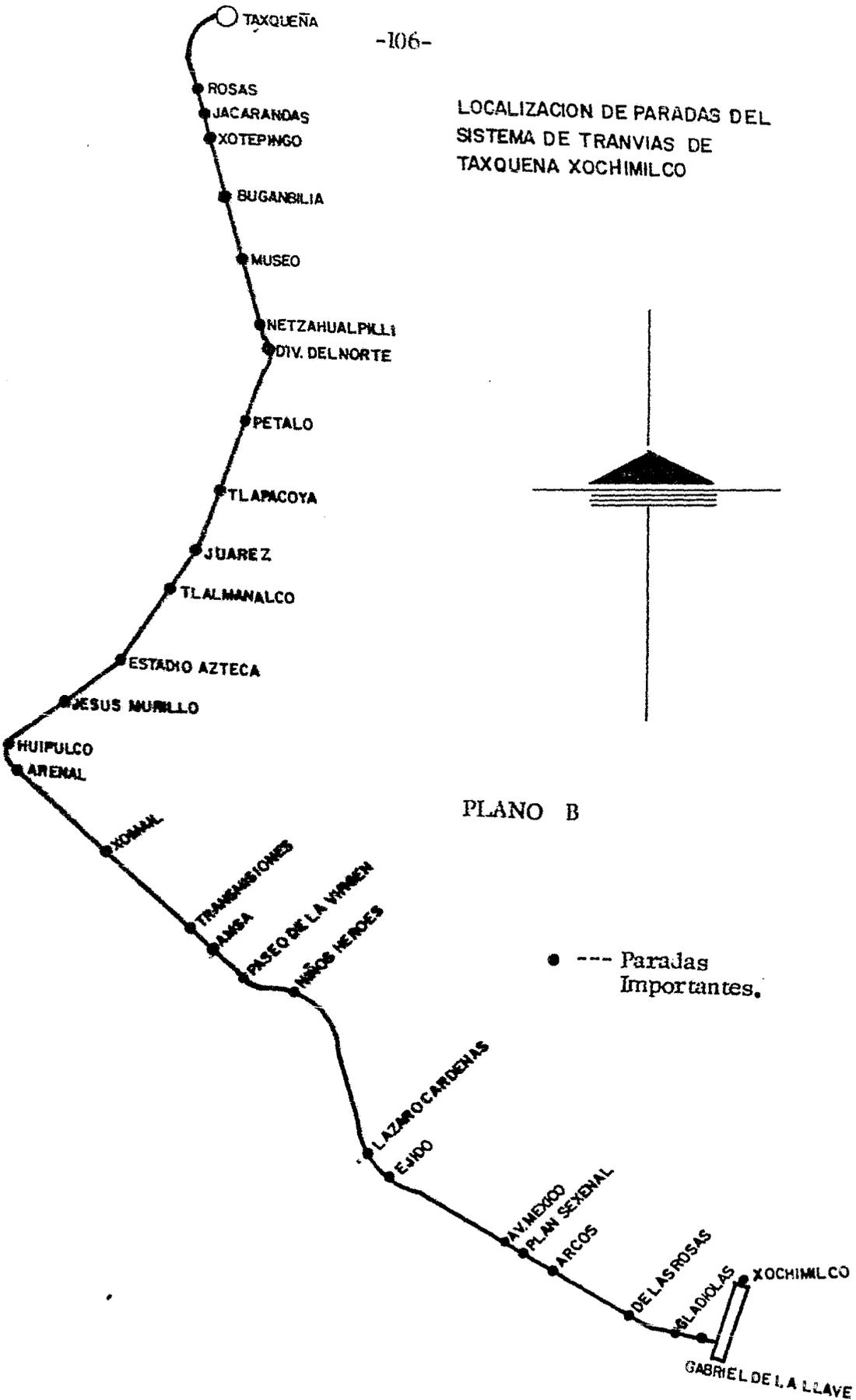
Dando como resultado que nuestra demanda futura en la línea para tres  
carros acoplados será de:

$$P = 7922 \text{ KW.}$$

LOCALIZACION TOPOGRAFICA  
DE LA RUTA TAXQUENA  
XOCHIMILCO



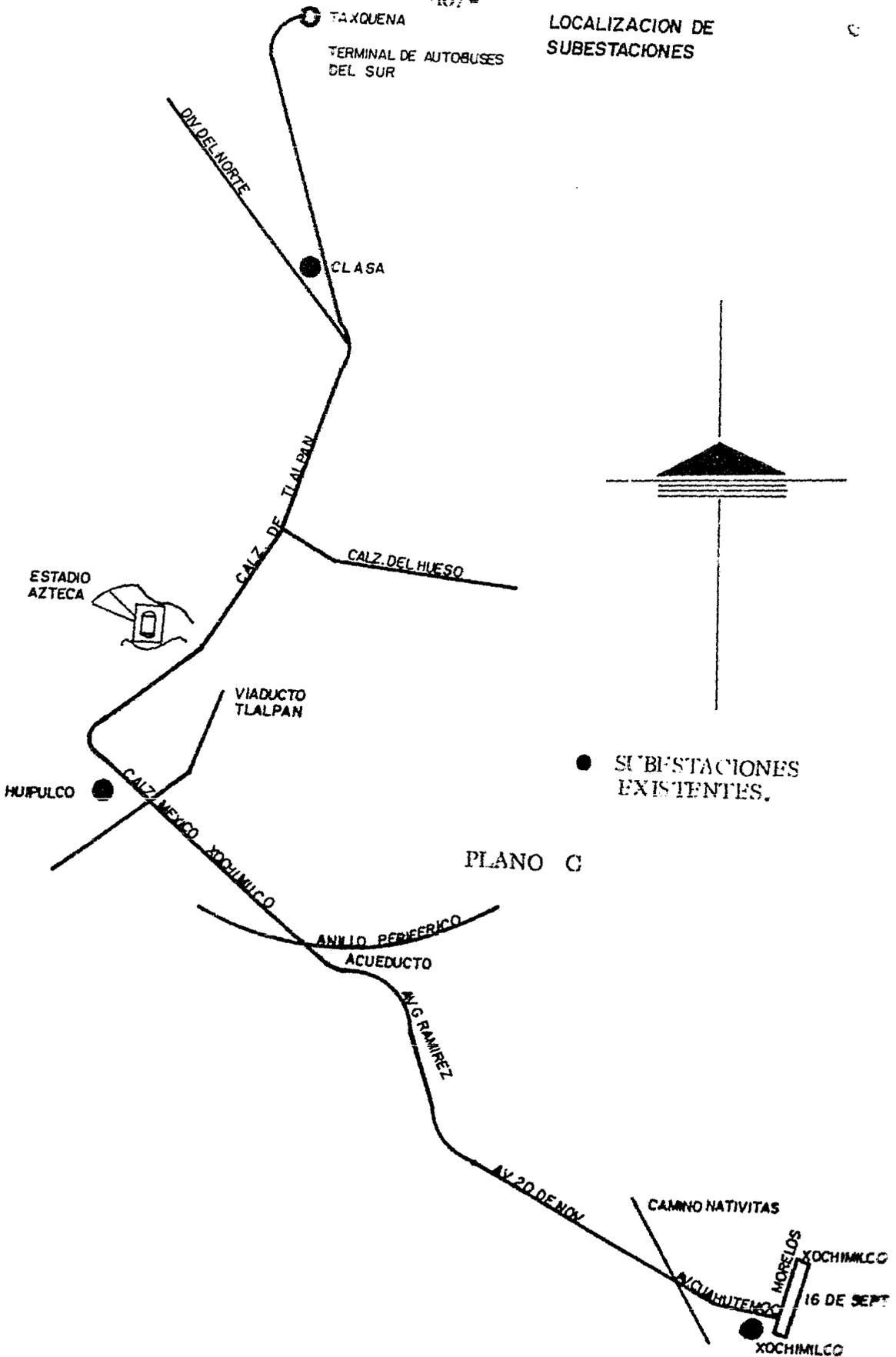
LOCALIZACION DE PARADAS DEL SISTEMA DE TRANVIAS DE TAXQUENA XOCHIMILCO



PLANO B

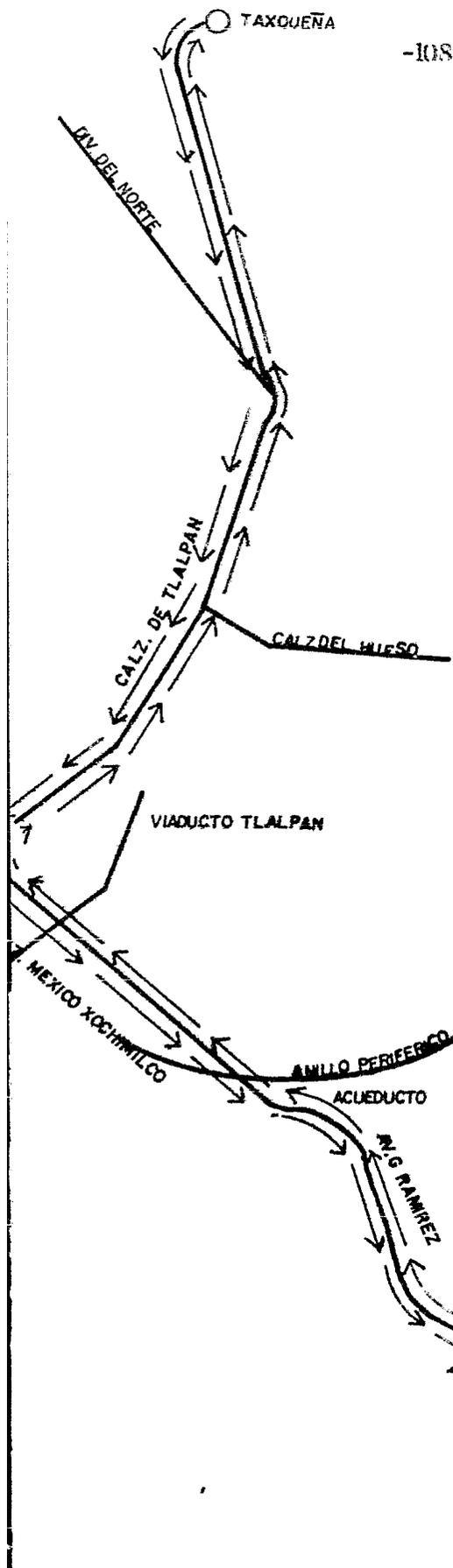
● --- Paradas Importantes.

# LOCALIZACION DE SUBESTACIONES



PLANO C

SENTIDO DE CIRCULACION DEL SISTEMA DE TRANVIAS DE TAXQUENA XOCHIMILCO



PLANO D

## CONCLUSIONES:

La inquietud de poder realizar una readaptación, adecuada y eficiente a este sistema de transporte, requiere de un ensayo práctico, en los talleres del mismo, para hacer ajustes que nos permitan conocer las variables reales, que requieran modificación y realizarlas en ese momento.

Dadas las condiciones y el material, con que nosotros contamos -- en nuestro estudio nos concretamos a realizar consideraciones, -- y damos pautas de un rediseño en forma parcial, ya que hay imponderables que se nos presentan limitando nuestra investigación y -- truncando de alguna manera, la evaluación de parámetros experimentales, que nos permiten realimentar la información para corregir errores y fallos que se pudieran presentar en la práctica, al -- realizar el acoplamiento tanto Mecánico como eléctrico.

Estamos concientes, que se requiere de un mayor tiempo de observación y de experimentación, con el que nosotros no contamos, por los problemas que implica el hacer uso de talleres y de andenes -- así como un presupuesto de mano de obra, material y equipo de experimentación, con el que nosotros no contamos. Sin embargo, tratamos de plantear las soluciones mas adecuadas para obtener un -- acoplamiento, que se pueda realizar en forma práctica, dando pauta e inquietud para que el Sistema de Transporte Eléctrico y las -- personas que tienen a su cargo este departamento puedan echar -- mano de la solución que nosotros planteamos para hacer una readaptación.

Sabemos también, que es posible conseguir o hacer elementos semiconductores, para realimentar la señal del sistema de control -- de arranque y paro del tranvía y que actualmente existen en otros países como Alemania , Japón que tienen un sistema de Transporte eléctrico sobre rieles con una Tecnología electrónica de Potencia -- muy avanzada que nos da la confianza necesaria para que aquí -- también, se puedan realizar modificaciones que mejoren de una -- forma determinante, este sistema de transporte, que va en desuso

en una forma impresionante y que sin embargo, podemos readaptarlo para beneficio propio y de la colectividad ya que una ciudad como la nuestra requiere y necesita de transporte masivo, que satisfaga en una buena forma, las necesidades apremiantes de transporte colectivo.

Además, se cuenta con equipo y refacciones del sistema actual que deben ser utilizadas, ya que de otra manera se perderían en forma penosa y tristemente, veríamos que este equipo desaparecería sin que nadie se preocupará por hacer un buen uso, o darle una aplicación adecuada a las necesidades actuales, para no hacer de este sistema de transporte obsoleto e insuficiente.

Una manera de corregir los problemas de vialidad que contempla el tranvía, es modificar sus trayectorias de recorrido, ya que nos da una mayor eficiencia cuando son trayectorias rectas que tiene como consecuencia un sistema aún mas dinámico y funcional.

El acoplamiento de dos o tres tranvías con un solo control de operación, implica la utilización de menos conductores, esto es, menos gastos por parte del personal calificado.

También generaría que un mayor número de usuarios que implica transportar en forma masiva a mas gente que genera mayores ingresos para el mantenimiento directo e indirecto del tranvía.

Además el acoplamiento es justificable ya que el costo de readaptación del tranvía no es muy elevado comparado con los beneficios que se le puede dar a la colectividad, pues implica invertir unos cuantos miles de pesos, comparando con lo que se perdería si el sistema cae en desuso que implica pérdidas cuantiosas.

Los elementos de Control de arranque y pare, no necesitan de un espacio adicional muy grande ya que pueden adaptarse muy bien en los espacios muertos que tiene el tranvía, pues su tamaño apropiado sería de 20 cm. por 10 cm. con un espesor de 10 cm. aproximadamente.

También el control de operación manual podrá adaptarse con facilidad en el tablero ya existente pues hay el espacio adecuado para su montaje.

Una vez hechas estas consideraciones solamente nos queda decir que esperamos que nuestras inquietudes se reflejen en las personas que puedan hacer posible esta readaptación y que el sistema de transporte eléctrico mejore así a los tranvías para ocuparlo en forma mas eficiente y concientes de que todo cambio es bueno en este transporte pues de lo contrario desaparecerá muy a pesar de todas las personas que lo utilizan para transportarse a sus diferentes destinos y que tienen al tranvía como su medio de transporte principal.

BIBLIOGRAFIA.

- Control of Electric Motors.  
Autor: Paisley B. Harwood.
- Principio de Máquinas de Corriente Continua  
Autor: Alexander S. Langsdorf  
Ediciones del Castillo, S. A.
- Electrical Transmission and Distribution reference book  
Westinghouse Electric Co.
- Electrical Equipment for P. C. C. cars Westinghouse  
Electric & Manufacturing Co.
- Expecificación for motor and Control equipment P. C. C.  
type electric railway cars.  
Westinghouse Electric Co.
- Resistencia de Materiales  
Autor: Nash William A.  
Ed. Mc Graw Hill.
- Mecánica Aplicada a la resistencia de Materiales  
Autores: Archie Hidgon, Edward H. Ohlsen, William B. Stiles  
John A. Weese.  
Ed. C. E. C. S. A.
- Manual del Ingeniero  
Ed. Gustavi Gili, S. A.
- Manual del Ingeniero Electricista  
Autor: Fransisco L. Singer

Standard Handbook for Electrical Engineers  
Autor: Archer E. Knowlton

Catálogo de Alambre y Cables desnudos  
ANACONDA PIRELLI; Sección I.

Manual del Ingeniero Electricista  
Harold Pender

Mechanical Engineers Handbook  
Lionel S. Marks

Electrical Transmission and Distribution  
Reference Book  
Westinghouse Electric Co.