

68
247
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESTUDIO DE LA SUSTITUCION DEL JH POR TROCEADOR

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO
E L E C T R I C I S T A

PRESENTAN:

PABLO FRANCISCO LARA REYES
GUILLEMO PEREZ CONTRERAS
ALEJANDRO RAMOS AYALA
REYNALDO ALEJANDRO ROSAS HIJAR

MEXICO, D.F.

1987.



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 está 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.

I N D I C E

INTRODUCCION	1
CAPITULO 1	
ESTADO ACTUAL DEL EQUIPO DE TRACCION MP-68	4
1.1 Historia	4
1.2 Evolucion del material MP-68	5
1.3 Estado actual de los trenes MP-68	8
1.4 Expectativas del STC	9
1.5 El material NM-73B	10
CAPITULO 2	
DESCRIPCION GENERAL DEL SISTEMA DE CONTROL DEL CIRCUITO DE POTENCIA DEL MP-68	12
2.1 Control de potencia	13
2.1.1 Teoria de control	13
2.1.2 Teoria del sistema de control reostático	16
2.2 Equipo JH y circuito de potencia	39
2.2.1 Encendido del tren	39
2.2.2 Combinador de arranque y frenado JH	41
2.2.3 Funciones que realiza el combinador JH	46
2.2.4 Descripción topológica	49
2.3 Origen de las fallas en el JH	53
2.3.1 Capacidad interruptiva	53
2.3.2 Teoria de interrupción de circuitos	54
2.3.3 Origen de las fallas	56

2.4	<i>Estudio estadístico de las fallas en el MP-68</i>	60
2.4.1	<i>Clasificación</i>	61
2.4.2	<i>Concentración de datos</i>	65
2.4.3	<i>Histogramas</i>	66
CAPITULO 3		
COSTOS DE OPERACION DEL EQUIPO JH		75
3.1	<i>Análisis de los costos de operación</i>	76
3.2	<i>Mantenimiento del JH</i>	76
3.2.1	<i>Actividades del mantenimiento</i>	76
3.2.2	<i>Costos del mantenimiento del equipo JH</i>	83
3.3	<i>Balace de energía</i>	90
3.3.1	<i>Análisis del consumo de energía</i>	94
3.3.2	<i>Análisis del costo del consumo de energía</i>	106
3.4	<i>Costos de operación</i>	107
CAPITULO 4		
EL TROCEADOR		108
4.1	<i>Principios del troceador</i>	109
4.1.1	<i>Principio</i>	110
4.1.2	<i>Operación</i>	112
4.1.3	<i>Tiristores</i>	115
4.2	<i>Realización</i>	116
4.2.1	<i>Conmutación</i>	116
4.2.2	<i>Segunda inversión</i>	120
4.3	<i>Filtro y fases</i>	122
4.4	<i>Puentes de campo</i>	123
4.5	<i>Tracción-Frenado</i>	124

4.6	<i>Enfriamiento</i>	126
4.7	<i>Revisión de las tecnologías</i>	127
4.8	<i>Estudio estadístico de las fallas en el trocador</i>	129

CAPITULO 5

ESTIMACION DE COSTOS DE OPERACION PARA TROCEADORES		131
5.1	<i>Mantenimiento al equipo trocador.</i>	131
5.1.1	<i>Costos de mantenimiento para el equipo trocador</i>	139
5.2	<i>Balace de energia</i>	145
5.2.1	<i>Análisis de consumo de energia</i>	150
5.2.2	<i>Análisis del costo de consumo de energia</i>	157
5.3	<i>Costos de operación del trocador</i>	158

CAPITULO 6

TRANSFORMACION		159
6.1	<i>Desarrollo reciente de los trocadores</i>	160
6.2	<i>Transformación del material MP-68</i>	162
6.2.1	<i>Desmontaje</i>	163
6.2.2	<i>Montaje del equipo trocador</i>	164
6.2.3	<i>Pruebas</i>	165

CAPITULO 7

ESTUDIO ECONOMICO DE LA TRANSFORMACION		172
7.1	<i>Costos de la transformación</i>	173

CAPITULO 8

DESCRIPCION GENERAL DEL EQUIPO A UTILIZARSE		180
8.1	<i>El trocador y sus características</i>	180

8.2	<i>Características de los elementos que constituyen el equipo</i>	181
8.3	<i>Mexicanización</i>	189
CAPITULO 9		
COMPARACION		
9.1	<i>Comparación económica</i>	192
9.2	<i>Confiabilidad</i>	196
CONCLUSIONES		
		204
ANEXOS		
A	CONCENTRADOS DE DATOS DE FALLAS	209
B	ALGORITMOS	221
C	ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO PROPUESTO	241
D	MANUAL DE CONFIABILIDAD	273
SÍMBOLOS		
		289
OBRAS CONSULTADAS.		
		295

INTROUCCION

El objetivo de este trabajo es el de encontrar si es conveniente transformar el sistema de control de los trenes equipados con un control de tipo electromecánico y frenado reostático (JM) a un control por semiconductores y provisto de frenado regenerativo (trocesdor). Para esto se hace en forma comparativa un estudio técnico, el cual comprende los principios de funcionamiento de cada tipo de control, sus elementos principales y su desempeño, y un análisis económico que abarca los aspectos de costos de operación y en la parte final los costos de la inversión para la transformación.

Este trabajo puede contemplarse como si estuviera dividido en 4 partes. La primera corresponde al estudio del material equipado con control electromecánico y comprende los tres primeros capítulos.

En el capítulo primero, se hace una descripción del estado actual de los trenes MP-68 y de las modificaciones más importantes que se han realizado

desde su adquisición.

En el segundo capítulo se estudian las bases teóricas del control reostático, además se analiza el funcionamiento del JH así como sus principales fallas.

En el tercer capítulo se analizan los costos de operación desde el punto de vista del mantenimiento y del consumo de la energía.

En la segunda parte se estudia el equipo de control por semiconductores - en los mismos aspectos que en la parte anterior. Los capítulos que la forman son el cuarto y el quinto.

En el capítulo cuarto se estudian los principios del trocador, las tecnologías que lo utilizan y se analizan las diferencias y similitudes de los equipos japoneses y franceses.

En el quinto capítulo se analiza el aspecto económico del equipo trocador en los mismos puntos que en el tercer capítulo para control reostático.

La tercera parte trata sobre la transformación propuesta para el equipo - JH. Los capítulos que la componen son el sexto, séptimo y octavo.

La transformación se explica en el capítulo sexto, para el séptimo se hace el estudio económico de la inversión y en el octavo capítulo se describe en forma general el equipo propuesto.

En la última parte, que abarca el capítulo 9 y las conclusiones, se hace la comparación tanto técnica como económica, basada en las partes anteriores y se presentan las conclusiones del trabajo.

A lo largo de este trabajo se ha procurado utilizar el Sistema Internacional de Medidas, excepto en los análisis de los aspectos económicos, de estudios estadísticos y en el subcapítulo de confiabilidad. En los que se utilizan unidades domésticas o convencionales.

CAPITULO I

ESTADO ACTUAL DEL EQUIPO DE TRACCION DEL MP-68.

En este capítulo se hace, en primer lugar, una pequeña reseña histórica sobre el material MP-68. Después se habla de la evolución que ha sufrido el material en su combinador de tracción-frenado JH. Se menciona el estado actual de los trenes MP-68 y se tratan las perspectivas que tiene STC sobre el mismo. Por último, se presenta un pequeño comentario sobre el material MP-73B.

1.1 Historia

En 1935, el ingeniero Leon Heidmann presentó un equipo de control conocido con el nombre de equipo, o combinador de tracción-frenado, JH (Jeumont-Heidmann); con base en contactores, comandado por un árbol de levas y accionado por un servomotor eléctrico. Este equipo adquirió una posición preponderante en el dominio de la tracción eléctrica de corriente continua.

Actualmente la firma Jeumont-Schneider ha enviado mas de 2400 equipos JH a las redes metropolitanas de Paris, Montreal, México, Santiago de Chile y Marsella.

En el año de 1969, el Sistema de Transporte Colectivo (STC) Metro de la ciudad de México inicia sus actividades con el material MP-68, comprado a Francia y cuyo equipo de control está basado en el combinador de tracción-frenado JH. En un comienzo el STC contaba con solo 3 líneas, actualmente los trenes MP-68 funcionan en 4 de las 7 líneas existentes.

1.2 Evolución del material MP-68.

A la fecha han transcurrido 15 años de la puesta en servicio del equipo de tracción MP-68. En este tiempo se han efectuado alteraciones en sus diferentes componentes, siendo las más representativas para este trabajo aquellas realizadas en el combinador de tracción-frenado JH. Se habla, entonces, de la evolución en el conjunto de contactores de potencia y en el conjunto de interruptores de control.

a) Conjunto de contactores de potencia.

Este conjunto está formado por 24 contactores de potencia CM-20, con especificaciones de 750 Volts, 350 Amperes y soplado magnético del arco eléctrico. Se encuentran divididos por los soportes de las chisnecas de soplado en tres grupos de 8. El grupo central tiene la característica que la apertura de los contactores se realiza bajo carga.

La primera modificación que sufrió el equipo, se realizó cuando el servicio aún era ligero y consistió en la eliminación del tercer paso de puenteo del campo, como una solución temporal a un problema presente

tado en los motores y mientras se realizaba la modificación permanente por parte de los fabricantes. Tiempo después surgió la necesidad de aumentar la capacidad de transporte del sistema, y por falta de material se decidió aumentar la velocidad de los trenes reconectando el tercer paso de puentes de campo. Pero como para entonces las condiciones de carga habían aumentado y como al disminuir la corriente de campo se disminuye la fuerza contraelectromotriz, entonces aumenta la corriente de armadura y por tanto el calentamiento en todos los componentes, así como las exigencias para todos los contactores que operan bajo carga. Esto se vio reflejado inmediatamente en el consumo de reacciones que tuvo aumentos hasta del 150%.

b) Conjunto de interruptores de control.

Este conjunto corresponde a los interruptores que conmutan a 70 Volts de corriente directa y a unos cuantos miliamperes. Son accionados por levas y sus fuleros son los contactos eléctricos.

En vista de la aparente sencillez del elemento móvil se decidió manufacturarlo en el país. El primer problema que se presentó fue que la dureza del elemento era inadecuada; se desgastó rápidamente y comenzó a rayar la leva con la consecuente pérdida del programa y la contaminación (con el polvo de la leva) de los contactos. Se dio solución a esto especificando una mayor dureza. Para lograrlo el fabricante cambió el material. El segundo problema resultó entonces de la incompatibilidad electroquímica del nuevo material con la róstula (fulero del contacto móvil) con lo que se producía una capa de material aislante y se impedían las señales de mando y control. Para solucionar este problema se decidió efectuar una conexión más firme para el contacto

móvil. Así, de la hembra de la conexión para el contacto móvil, se estableció un conductor hasta el extremo de éste. Este conductor o soguilla se estableció de manera masiva en los equipos JH del material MP-68. Poco tiempo después de esta instalación comenzaron a presentarse fallas de gran importancia, por lo que en los talleres de mantenimiento menor se tomó la decisión de eliminar todas las soguillas. Un estudio posterior del problema reveló que el comportamiento inadecuado de la solución anterior se debió a la longitud de la soguilla; la tapa que cubre el conjunto de interruptores presionaba sobre las soguillas y hacía que los contactos permanecieran abiertos, pero solo la mitad de los interruptores eran afectados por este problema. Se tomó entonces la decisión de recolocar en forma paulatina las soguillas en los interruptores no afectados por la tapa y colocar elementos nuevos y originales en las posiciones de mayor importancia para la seguridad en el sistema de control, entretanto se busca una solución para la longitud de la soguilla y otros problemas que han surgido, como el endurecimiento del aislante del conductor de la soguilla debido a la alta temperatura.

Otra modificación efectuada al combinador JH fue externa: se cambió el sistema de pilotaje de parada automática del tren (ATS) a un sistema de pilotaje automático (PA), que en un sistema de control y velocidad de tipo electromecánico como el del combinador JH causa un desgaste y por tanto un consumo de refacciones hasta 5 veces mayor.

Por último, han surgido los problemas habituales con los fabricantes que suministran las piezas, ya que el servicio del sistema de transporte es -

tan exigente que cualquier corrimiento fuera de especificaciones pueda causar graves deterioros. La solución adoptada para estos problemas hasta el momento ha sido la intensificación del mantenimiento preventivo.

1.3 Estado actual de los trenes MP-68.

Como se mencionó anteriormente el material MP-68 ha llegado a 15 años de operación. Como punto de evaluación importante cabe mencionar que este periodo es precisamente el pronosticado como tiempo de vida útil para el equipo de control JH considerando su ritmo de trabajo en la Ciudad de México. Esto ha traído como consecuencia que en los últimos meses se presente un aumento desproporcionado de la cantidad de mantenimiento y del consumo de refacciones necesarias para mantener en operación a estos trenes, produciéndose de esta manera un aumento considerable en los costos de mantenimiento.

Otros aspectos desfavorables, importantes de considerar dentro de la operación del material MP-68 son: primero, la incapacidad de efectuar un frenado de tipo regenerativo, lo cual ocasiona grandes pérdidas de energía; segundo, un control de tipo electromecánico, en el cual parte del acondicionamiento de energía se logra desviando energía hacia resistores con las subsiguientes pérdidas. Estas grandes pérdidas de energía en la actualidad ya no son aceptables dentro de un sistema de transporte eléctrico. Considerando además que todo equipo presenta una degradación de sus propiedades con el paso del tiempo, tenemos que los costos de operación cada vez son mayores.

El aumento de los costos de mantenimiento y operación en este material ha ocasionado que se piense en la manera más económica y conveniente de mejorar su sistema de control.

Ahora bien, observando el desarrollo de los semiconductores de potencia y su reciente aplicación en el transporte eléctrico, se han venido desarrollando sistemas de control que no requieran de un gran mantenimiento y - que, por ser más eficaces, presentan grandes ahorros de energía y por tanto una disminución considerable de los costos de operación. Acentuándose de esta manera, por comparación, las desventajas del combinador JH como sistema de control en el transporte eléctrico de corriente continua.

1.4 Expectativas del STC

De acuerdo con la información proporcionada, STC no tiene un plan concreto o definido con respecto al futuro del material.

En vista de que los carros tienen actualmente una esperanza de vida útil de aproximadamente 15 años, en términos generales parece ser que STC mantendrá las políticas actuales con respecto al material.

Hasta fecha reciente la demanda impuesta al material MP-68 se había mantenido en crecimiento constante, por lo que en el área de mantenimiento se había pasado de las operaciones recomendadas por el fabricante a unas de mayor intensidad y frecuencia, esto unido a la escasez crónica de recursos (que llevó a reparar en vez de sustituir partes) provocó una situación parecida a una crisis, en la que se tomó la decisión de hacer una adquisición masiva de piezas de recambio. Para un horizonte como el que se plantea, en el que no se esperan cambios drásticos en ambientes políticos o -

económicos, es de esperarse que la situación de demanda, políticas de mantenimiento y crisis de estos se repita y probablemente a intervalos de tiempo más cortos en cada ocasión porque se considera que existe una cierta degradación de los carros en general, que lleva a que al final del horizonte el valor útil de los trenes sea prácticamente nulo.

Parece ser, por tanto, que las expectativas de STC para el material MP-68 son las de utilizarlo hasta que llegue a su límite de funcionamiento, procurando tal vez ocupar el material en las líneas recientemente construídas (que tienen un nivel más bajo de ocupación) con el inconveniente de la reprogramación del PA. Esta es por tanto la alternativa a la transformación propuesta.

1.5 El material NM-73B.

El modelo NM-73B utiliza un equipo de control JH semejante al utilizado por los modelos MP-68 y NM-73A. A este equipo se le conoce como equipo JHR y su característica distintiva es la de ser capaz de efectuar un frenado de tipo regenerativo.

El equipo JHR durante la tracción presenta algunas variaciones en la secuencia de pasos con respecto al equipo JH, ya que antes de hacer una reducción del reóstato, como se hace en éste (una descripción detallada del funcionamiento del equipo JH se hace en el capítulo 2), se procede a una reducción de campo, este proceso se efectúa tanto en la conexión serie como en la serie-paralelo. Además en el modelo NM-73B todos los pasos de derivación se realizan por medio de contactores electromagnéticos.

Durante el frenado el JHR es controlado mediante un bloque electrónico, lo cual es una diferencia importante con el equipo JH, ya que muchos elementos electromecánicos se sustituyen por dispositivos electrónicos. Este bloque electrónico se encuentra conectado a sensores que miden velocidad, par, etc. y con esta información se regula la corriente de campo durante el frenado regenerativo.

Aunque en el modelo NM-73B ya se han incluido el frenado regenerativo y dispositivos de control electrónicos, el comportamiento del material es parecido al del MP-68, ya que siguen existiendo una gran cantidad de elementos electromecánicos que presentan muchas fallas. Por tanto, se estima que los resultados del estudio sobre la transformación puedan también ser aplicados al modelo NM-73B.

CAPITULO 2.

DESCRIPCION GENERAL DEL SISTEMA DE CONTROL DEL CIRCUITO DE POTENCIA DEL NP-68.

En este capítulo se realiza una descripción del combinador de arranque y frenado JH y se tratan los aspectos eléctricos y mecánicos de este.

En el primer subcapítulo se habla de la necesidad de un equipo de control de potencia así como de las bases teóricas para realizar el control para el caso de un sistema reostático.

En el siguiente subcapítulo se caracteriza al equipo JH y se describen sus funciones de acuerdo al subcapítulo precedente. Se describe al equipo en sus diversos elementos y secuencias lógicas. Así mismo se da una descripción topológica del circuito de potencia.

Para el tercer subcapítulo se presenta la descripción material de la forma en que el equipo JH realiza las funciones de potencia antes descritas.

Se detalla en lo que concierne a las fallas: su origen y consecuencias. Se introducen algunos conceptos sobre el mantenimiento del equipo.

Por último se tratan en forma estadística las fallas del equipo de acondicionamiento de energía JH.

2.1 Control de potencia.

2.1.1 Teoría de control.

En el control de un tren se desea que tres operaciones elementales distintas se realicen adecuadamente. Estas operaciones son: tracción, marcha y frenado.

Para cada una de estas operaciones se establecen restricciones de acuerdo al tipo de servicio, la capacidad de transporte, las características técnicas del equipo y las condiciones en las que se efectúa la operación.

Considerese la operación de tracción. El tipo de servicio para pasajeros impone restricciones de aceleración máxima así como de cambios de aceleración (o Jerks) máximos. La capacidad de transporte para la que fue diseñado el tren en consideración define una aceleración mínima para poder cumplir con un itinerario especificado. En cuanto a las características técnicas del equipo de tracción, se encuentra como restricción la aceleración máxima del tren, limitada por la adherencia entre las ruedas del vehículo y los rieles. Por otra parte en las máquinas de tracción, la corriente circulante está limitada por el calentamiento permitido por los materiales de aislamiento y la capacidad de disipación de calor de otros elementos. Todas estas restricciones deberán cumplirse sin importar las condiciones de operación o la carga de los vehículos.

Durante la operación de marcha, el objetivo principal es cumplir con el itinerario ya sea solo venciendo el esfuerzo resistente al avance o en marcha libre -sin traccionar- (la marcha libre se da para poder tener algún enfriamiento de las partes del equipo de tracción y tolerancia para modificar el itinerario). Para mantener una velocidad de tracción se debe dar un equilibrio entre la característica de la máquina de tracción y la característica de resistencia al avance del tren. Las diferentes características de tracción se dan en las máquinas con los distintos grados de tracción en el equipo acondicionador de energía.

Las restricciones para la operación de frenado son muy semejantes a las de tracción. Se cuidará que no se sobrepase una desaceleración máxima así como los Jerks máximos, para la comodidad de los pasajeros durante las frenadas normales. El itinerario a cumplir por el tren define desaceleraciones mínimas. Por otra parte, en los frenados de emergencia, donde la comodidad de los pasajeros no es relevante, se procurará no rebasar el límite de adherencia de las ruedas con los rieles, ya que de lo contrario se pierde control y efectividad en el frenado. Desde otro punto de vista, la capacidad de los distintos equipos de frenado para deshacerse de la energía cinética del tren está limitada por sus características técnicas, esto es la capacidad que tengan para transformar la energía de movimiento del tren en algún otro tipo de energía. En los sistemas de transporte eléctrico se usan tres tipos de transformación de energía para frenado: el primero es mecánico y se basa en la fricción de zapatas contra partes móviles para transformar la energía del tren en calor; la segunda es eléctrica y se basa en el empleo de las máquinas de tracción como generadoras, la energía se disipa en forma de calor en una carga resistiva conectada a las máqui-

nas; la tercera también hace uso de las máquinas como generadores, pero en esta la energía se regresa a la red de alimentación. La primera forma está limitada por la concentración térmica que se produce en los elementos de frenado, la cual produce fisuramiento térmico y rápido desgaste de estos elementos. A la segunda forma la limita la corriente máxima permitida en los devanados de las máquinas, así como la temperatura máxima permisible en los resistores de disipación. En la última forma, el regreso de la energía está restringido por la capacidad receptiva de la línea. Un tren moderno estará equipado con sistemas de dos o tres tipos de frenado, por lo que el control de potencia deberá ser capaz de elegir la proporción y el momento de aplicación de cada uno de estos para cumplir con los requisitos de desaceleración adecuados al servicio.

El itinerario que sigue el tren es en forma esquemática de la siguiente manera:

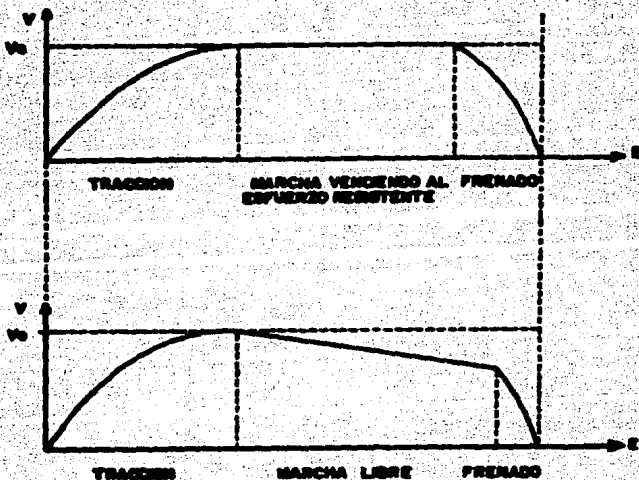


Figura 2.1

Finalmente, en el control automático el PA obedezca consignas de velocidad determinadas para cada posición.

2.1.2 Teoría del sistema de control reostático.

Las condiciones de control de los vehículos de tracción requieren de la regulación de la velocidad. Para las máquinas serie de corriente continua utilizadas en los trenes del metro, tenemos como resultado de las ecuaciones básicas:

$$\omega = \frac{U \pm IR}{K\Phi}$$

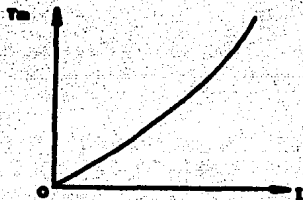
$$T_m = K'\Phi I$$

En donde:

- ω = Velocidad angular del rotor
- U = Tensión de alimentación
- I = Corriente del motor
- R = Resistencia del circuito de armadura
- Φ = Flujo magnético del campo del motor
- T_m = Par del motor
- K, K' = Constantes del motor.

El signo de la primera ecuación indica la operación de la máquina como motor o generador. En donde el signo negativo indica la operación de la máquina como motor.

A partir de estas ecuaciones, operando la máquina como motor se tienen las curvas T_m Vs I y ω Vs I :



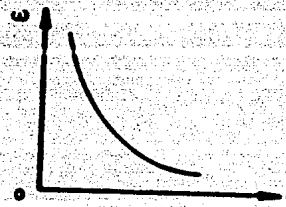


Figura 2.2

Con base en las curvas anteriores se obtiene punto a punto la curva T_m

vs ω :

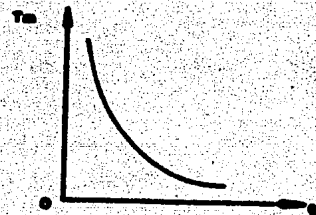
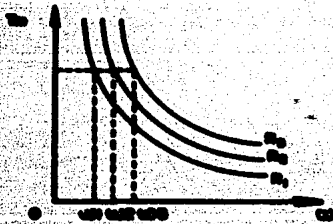


Figura 2.3

Como se observa de la ecuación de velocidad del motor, se puede obtener la regulación de ésta a través del cambio de la tensión de alimentación, de la variación de la resistencia del circuito de armadura y del cambio del flujo magnético del campo, presentando cada uno las siguientes características para la curva T_m Vs ω .

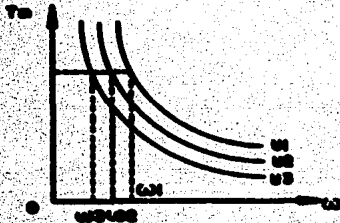
Fig. 2.4 Control por variación de la resistencia



En donde $R_1 > R_2 > R_3$.

Se ve que si se disminuye la resistencia se aumenta la velocidad para un mismo par.

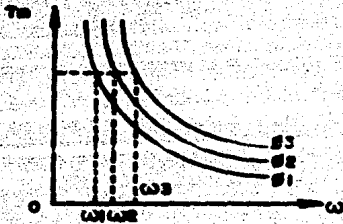
Fig. 2.5 Control por tensión.



En donde: $U_1 > U_2 > U_3$.

Para un mismo par al aumentar la tensión de alimentación se incrementa la velocidad.

Fig. 2.6 Control por variación de flujo.



En donde: $\phi_1 > \phi_2 > \phi_3$.

Con la disminución del flujo ocurre un incremento de la velocidad a un mismo par.

Como soluciones de operación clásicas se utilizan: durante la tracción y para el arranque, el cambio de conexiones en los motores o conmutación serie paralelo (como variación de la tensión de alimentación); el cambio de la resistencia del circuito de armadura por medio de la variación de una resistencia externa; la variación de flujo magnético mediante el puenteo reostático de campo. El frenado se realiza en forma dinámica usando como carga disipativa los mismos resistores del arranque. A este tipo de control se le conoce como control reostático.

La regulación de velocidad a través de la variación de la resistencia del circuito de armadura se logra añadiendo un resistor externo variable o reóstato de arranque, R_a . Por lo que la ecuación de la velocidad del motor queda:

$$\omega = \frac{U}{k_1 I} - \frac{(R_a + r_i)}{K_1}$$

En donde r_i es la resistencia interna del motor y K_f una nueva constante del motor considerada (en el motor serie de CD el campo es proporcional a la corriente).

El reóstato de arranque se compone en el equipo JH de una serie de resistores que se conmutan mediante contactores accionados por levas.

La utilización de este reóstato se hace necesaria para limitar la corriente de armadura cuando en el arranque la fuerza contraelectromotriz en los motores es nula, y hasta que es posible la aplicación de la tensión de línea sin exceder la corriente de operación; y para mantener un par más o menos constante, esto se logra manteniendo la corriente de armadura entre dos límites preestablecidos a través de la variación del reóstato de arranque, como se puede apreciar en la figura 2.7

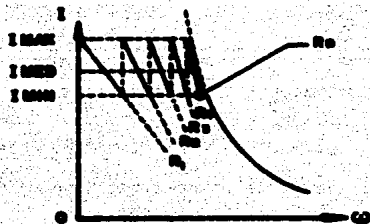


Figura 2.7

En donde $R_1 > R_2 > R_3 > \dots > R_N$ y la corriente media corresponde al par deseado.

El número de resistores elementales depende de la tolerancia permitida de variación de par (corriente). Para un control mas fino o suave, se requerirá un mayor número de divisiones del reóstato.

Para el cálculo de la cantidad de resistores elementales de los que va a constar el reóstato se toman en cuenta los siguientes parámetros: El valor de la resistencia de armadura de la máquina, la corriente máxima que permite, la corriente media que está definida por el par tractivo que se desea y la corriente mínima que se establece para tener una variación máxima del par durante las conmutaciones.

Sabemos que para cualquier momento la corriente que circula por la armadura es la diferencia entre la tensión de la fuente U y la fuerza contraelectromotriz E dividido por la resistencia R que presenta el circuito y que es la combinación de la resistencia de la armadura y el reóstato, de manera que la corriente mínima y la corriente máxima son:

$$I_{\min} = \frac{U - E_x}{R_x} \quad (1)$$

$$I_{\max} = \frac{U - E_x + I}{R_x + 1} \quad (2)$$

donde el subíndice x indica el paso de eliminación de reóstato. Si se recuerda que la fuerza contraelectromotriz es el producto del flujo por la velocidad de la máquina y por una constante propia del motor, al pasar del paso x al $x + 1$ la velocidad de la máquina es prácticamente la misma sin embargo la corriente ha crecido desde mínima a máxima y por lo tanto el

flujo de campo también creció de mínimo a máximo, de ahí que E_x sea menor que E_{x+1} ; es obvio que la resistencia de x sea mayor que la de $x+1$. Para establecer una relación entre la resistencia del paso x con la del paso $x+1$ se hace la relación de flujo máximo al mínimo:

$$E_x = k \beta \text{ min}$$

$$E_{x+1} = k \beta \text{ máx}$$

haciendo el cociente de las expresiones anteriores, se tiene:

$$f = \frac{E_{x+1}}{E_x}$$

así podemos escribir para la expresión (2)

$$I_{\text{máx}} R_{x+1} = U - f E_x$$

6

$$I_{\text{máx}} R_{x+1} = U - f (U - I_{\text{mín}} R_x)$$

$$I_{\text{máx}} R_{x+1} = (1 - f)U - f R_x I_{\text{mín}}$$

$$R_{x+1} = (1 - f) \frac{U}{I_{\text{máx}}} - f R_x \frac{I_{\text{mín}}}{I_{\text{máx}}}$$

si hacemos que

$$f \frac{I_{\text{mín}}}{I_{\text{máx}}} = c \quad \text{porque debe de ser constante}$$

y

$$R_1 = \frac{U}{I_{\text{máx}}} \quad \text{porque no hay fuerza contraelectromotriz}$$

tenemos pues:

$$R_{x+1} = (1 - f)R_1 + c R_x \quad (3)$$

o lo que es lo mismo

$$R_x = (1 - f) R_1 + c R_{x-1} \quad (4)$$

Si se llama r_x a los segmentos elementales del restato estos quedan definidos por:

$$r_x = R_x - R_{x+1}$$

Si sustituimos las expresiones (3) y (4) en la anterior

$$r_x = (1-f)R_1 + c R_{x-1} - [(1-f)R_1 + c R_x]$$

$$r_x = c(R_{x-1} - R_x)$$

El interior del paréntesis define exactamente r_{x-1}

$$r_x = c r_{x-1}$$

Así cada segmento del restato queda definido por el anterior y por la relación de flujo máximo a flujo mínimo y el cociente de corriente máxima a corriente mínima.

El número total de segmentos del restato se pueden encontrar en función de las cantidades conocidas a partir de R_1 .

$$R_1 = r_1 + r_2 + \dots + r_n + r_a$$

poniendo en función de r_1

$$R_1 = r_1(1 + c + c^2 + \dots + c^{n-1}) + r_a$$

o

$$R_1 = r_1 \frac{1 - c^{n-1}}{1 - c} + r_a$$

sustituyendo r_1 por su definición

$$R_1 = (R_1 - (1-f)R_1 - c R_1) \frac{1 - c^{n-1}}{1 - c} + r_a$$

$$R_1 - r_a = (f - c)R_1 \frac{1 - c^{n-1}}{1 - c}$$

despejando

$$n = \frac{\ln \left[1 - \frac{1 - c}{f - c} \frac{R_1 - r_a}{R_1} \right]}{\ln c} + 1$$

Al redáto así calculado se le deben añadir una serie de resistores que corresponden a los pasos de acercamiento que se dan antes de alcanzar la corriente de operación y que se muestran en la figura siguiente:



Figura 2.8

Así calculado el redáto de las motrices del material MP-68 tiene 15 segmentos. Cada uno de estos resistores está compuesto de conductor enrollado en espiral del cual resultan unos cilindros con los valores de resistencia que se muestran:

1. 1.07 [Ω]
2. 0.85 [Ω]
3. 0.63 [Ω]
4. 0.42 [Ω]
5. 0.35 [Ω]
6. 0.32 [Ω]
7. 0.18 [Ω]
8. 0.16 [Ω]
9. 0.14 [Ω]
10. 0.11 [Ω]
11. 0.13 [Ω]
12. 0.13 [Ω]
13. 0.13 [Ω]
14. 0.13 [Ω]
15. 0.13 [Ω]

En donde todos los valores de resistencia están dados para una temperatura de 13°C.

En el equipo JH, en el arranque los motores se conectan en serie con la totalidad del reóstato y a medida que se adquiere una velocidad se disminuyen los niveles sucesivos de la resistencia hasta que todos los resistores quedan desconectados y luego se pasan los motores al trabajo en serie-paralelo con una parte de la resistencia que nuevamente se disminuye progresivamente.

Para los cuatro motores de que consta una motriz, estableciendo las conexiones apropiadas con los resistores, se tienen los siguientes pases de la dig

minución progresiva de la resistencia:

Para los motores conectados en serie:

1. 4.88 [Ω]
2. 3.8 [Ω]
3. 2.96 [Ω]
4. 2.33 [Ω]
5. 1.85 [Ω]
6. 1.53 [Ω]
7. 1.23 [Ω]
8. 0.99 [Ω]
9. 0.79 [Ω]
10. 0.65 [Ω]
11. 0.52 [Ω]
12. 0.39 [Ω]
13. 0.26 [Ω]
14. 0.13 [Ω]
15. 0.00 [Ω]

Para la conexión serie-paralelo:

motores 1 y 2

1. 0.72 [Ω]
- 2.
3. 0.58 [Ω]
- 4.
5. 0.46 [Ω]

motores 3 y 4

0.65 [Ω]

0.52 [Ω]

6.		0.39 [Ω]
7.	0.33 [Ω]	
8.		0.26 [Ω]
9.	0.2 [Ω]	
10.		0.13 [Ω]
11.	0.07 [Ω]	
12.		0.00 [Ω]
13.	0.00 [Ω]	

Los valores de resistencia están considerados para una temperatura de 15°C.

En muchas soluciones de operación, los sistemas de acondicionamiento de energía de los vehículos en los cuales trabajan dos o más motores, utilizan la conmutación serie paralelo, como control de velocidad a través del cambio de la tensión de alimentación. Una de las razones de la aplicación de esta conmutación es la disminución de pérdidas de energía en el resto to de arranque. La conexión en serie permite el trabajo de los motores en baja tensión sin los resistores de arranque. Mediante los cambios progresivos del circuito de potencia se puede reducir un porcentaje importante de las pérdidas de energía.

Para cuatro motores los cambios de topología posibles para la conmutación son, en un esquema simplificado (sin los devanados de excitación).

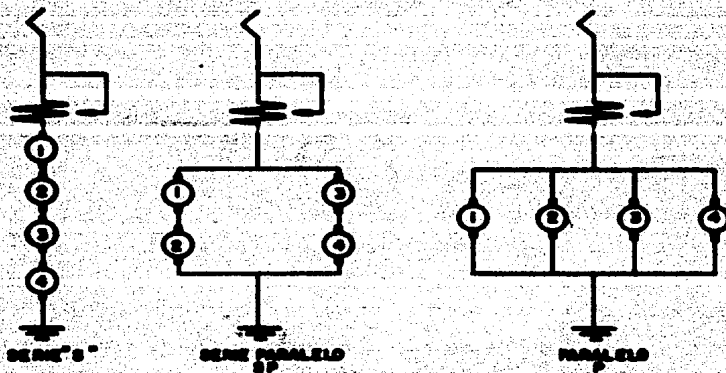
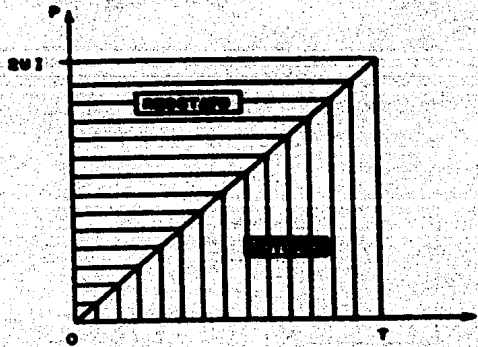
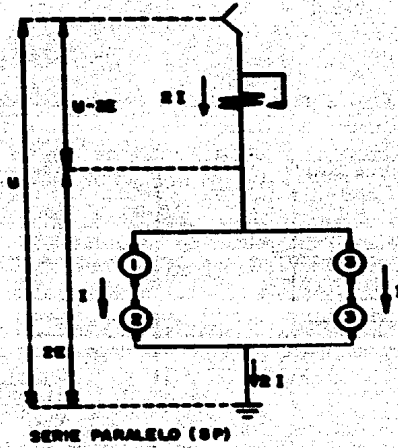


Figura 2.9

Sin embargo en el caso del equipo JH la conmutación está limitada al cambio serie serie-paralelo.

Para analizar la reducción de las pérdidas de energía se estudia primero la operación de los motores en la conexión serie-paralelo en su característica de potencia contra tiempo suponiendo la variación de la resistencia de arranque uniforme.



En donde t representa la duración del arranque y el área sombreada la energía disipada en el reóstato o la utilizada en los motores.

Figura 2.10

Ahora analizando el caso de los motores conectados en serie:

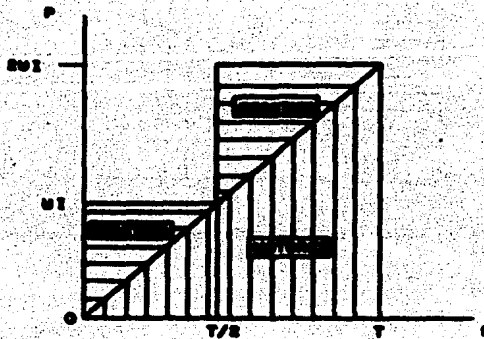
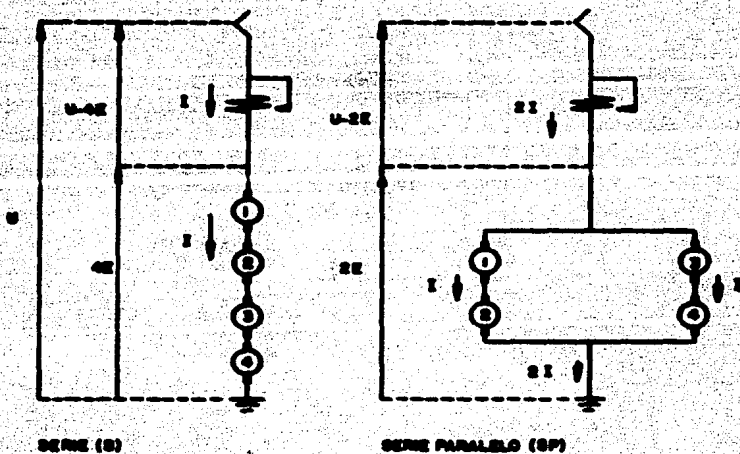


Figura 2.11

Se observa, entonces, que mediante el cambio de las conexiones en el circuito de potencia podemos reducir como máximo las pérdidas de energía en los resistores de arranque un 25%. Para el caso en el que para los cuatro motores se pudiera aprovechar los tres pasos de conmutación posibles, se lograría con ello reducir las pérdidas como máximo un 31.25%. Para el caso del MP-68 solo se utiliza el cambio serie serie-paralelo.

Al realizar los cambios de topología del circuito de potencia se deben considerar los posibles desbalances de la corriente del motor, debido a que los cambios fuertes de la corriente pueden ocasionar la pérdida de adherencia.

Uno de los métodos utilizados para el cambio de topología del circuito de potencia, y el usado en el equipo JH, es el llamado "Método del Puenteo", el cual en forma muy simplificada es el siguiente:

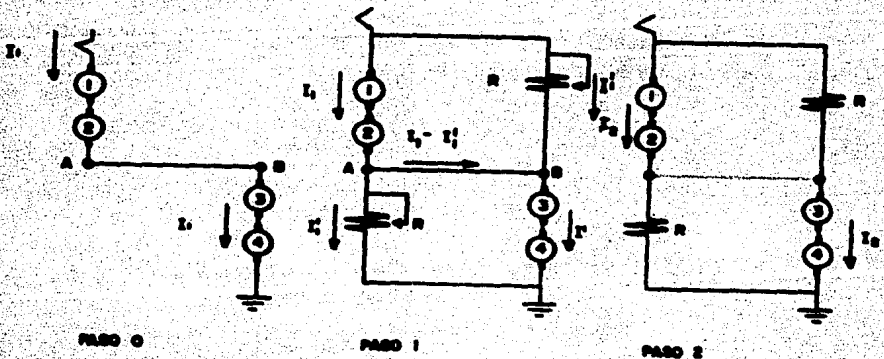


Figura 2.12

- Paso 0:** Se tienen los motores conectados en serie con la resistencia de arranque ya eliminada.
- Paso 1:** Se introduce parte de la resistencia de arranque en paralelo con los motores.
- Paso 2:** Se abre el circuito entre los puntos A y B, provocandose la circulación de una nueva corriente I_2 a través de los motores.

La debilitación del flujo magnético del campo inductor constituye un medio para aumentar la velocidad de los motores bajo una tensión dada. Existen tres posibilidades de lograr esta debilitación de campo: mediante el cambio del número de espiras activas en los inductores del campo principal; a través de la conexión en paralelo de una resistencia de derivación a los inductores del campo principal; y a través del cambio de las conexiones de los inductores. Para el caso de la conexión en paralelo de una resistencia, hay que añadir una inductancia apropiada en la derivación con el objeto de asegurar que en caso de presentarse regímenes transitorios la corriente se derive correctamente. Las figuras siguientes ilustran los métodos de debilitación de campo en el orden en que se describen.

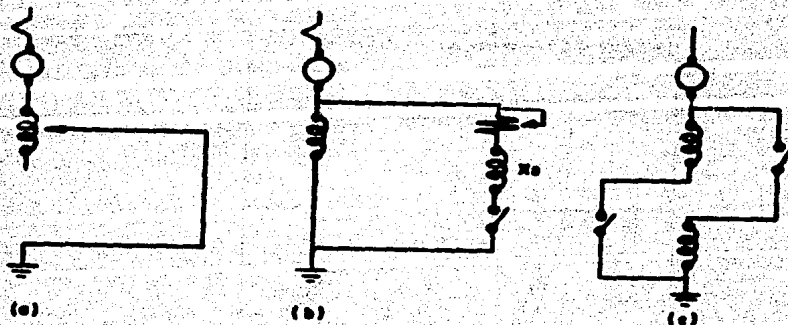


Figura 2.13

En el caso del JH la debilitación de campo se hace de acuerdo con el segundo método, en el cual por medio de una inductancia de derivación apropiada y tres resistores que se conmutan a través de dos contactores electromagnéticos y dos contactores accionados por levas, se logran tres pasos de derivación de corriente de campo de 26%, 45% y 59% respectivamente.

Estos pasos de derivación se efectúan al final de la conexión serie una vez que el rebtato de arranque ha sido eliminado, luego se regresa al campo completo al comenzar la conexión serie-paralelo y nuevamente se dan los tres pasos de puenteo al quedar los resistores de arranque desconectados, dejando a los motores en su característica natural con campo reducido.

De esta manera la característica esfuerzo-velocidad para los cuatro motores de una motriz del material MP-68, esto es con control reostático, resulta de la forma:

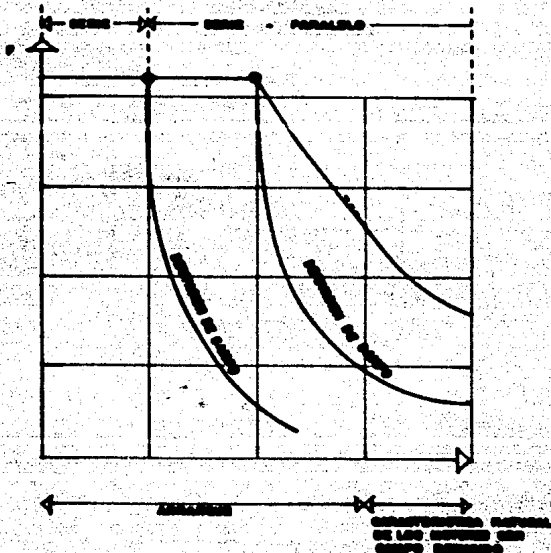


Figura 2.14

Ahora para el análisis del frenado eléctrico, considérese la máquina de tracción con campo serie para su utilización en el frenado reostático. La utilización de máquinas autoexcitadas como generadores tienen una característica de funcionamiento, que es el uso del magnetismo remanente para el inicio de la operación, y esto es particularmente importante en el uso de la máquina con el campo en serie ya que para frenar se da un cambio de modo de operación. En efecto, antes de dar un frenado la máquina operó como mo-

tor y el magnetismo remanente depende del sentido de circulación de la corriente en el campo.

Como se observa en la figura 2.15, el sentido de flujo magnético en el campo es distinto en la operación como motor que en la operación como generador para un mismo sentido de tensión (fuerza contra-electromotriz) por lo que al pasar de un modo de operación en tracción a frenado el campo se anula y la máquina se ve imposibilitada para generar.

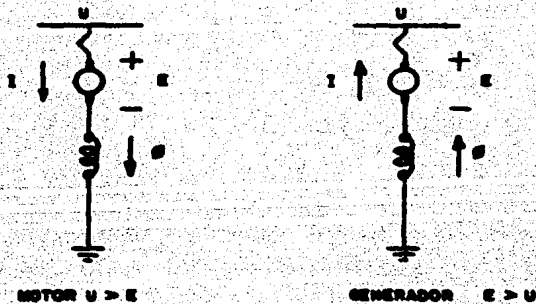


Figura 2.15

Para lograr aprovechar el magnetismo remanente en el campo de la máquina se hace necesario modificar las conexiones de tal manera que al invertir se la corriente en la armadura en el campo mantenga su sentido.

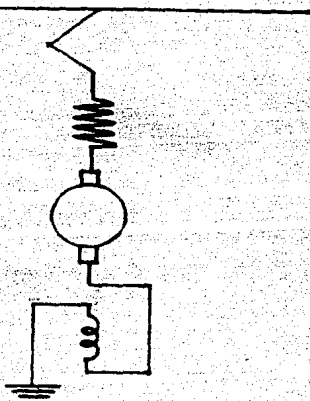
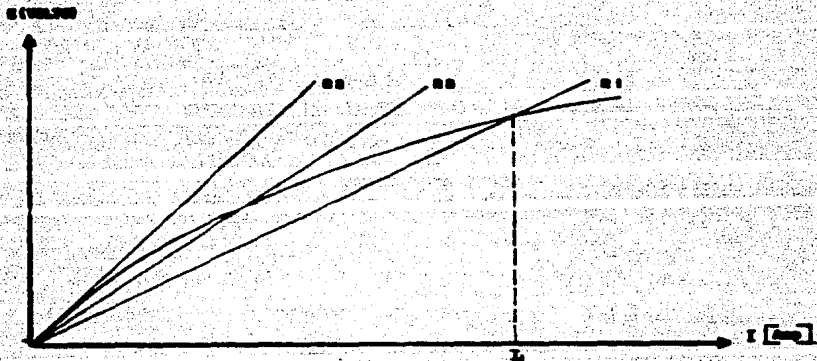


Figura 2.16

Para regular el esfuerzo de frenado se puede modificar la carga que se le aplica a las máquinas o se puede modificar la excitación del campo. En el frenado reostático con las máquinas autoexcitadas la regulación del frenado se da eligiendo un punto de funcionamiento entre la característica de generación de la máquina y la resistencia de carga. Observando estas dos características en la siguiente gráfica se hace evidente que existe una resistencia máxima como carga para que la máquina pueda generar.



con: R_1 generación en I_1
 R_2 no hay generación
 R_3 generación indefinida

Figura 2.17

Se puede observar que aún para valores menores que la resistencia mínima de generación, las resistencias de carga que cruzan la característica de generación en la parte poco saturada producen esfuerzos de frenado poco precisos lo cual conduce a algoritmos de control de frenado más complejos. Por otra parte, en general se tendrán dos o más máquinas generando en paralelo y en esta forma de conexión las máquinas serie son peligrosas ya que cualquier desbalanceo en las fuerzas electromotrices produce que la máquina con mayor tensión cambie el sentido de la corriente en la de su-

por tensión con lo que el sentido del flujo cambia y las máquinas quedan con sus fuerzas electromotrices conectadas en serie produciendo sobrecorrientes y sobretensiones importantes. La forma más sencilla de solucionar este problema es . en el momento del frenado eléctrico, cambiar las conexiones de los campos con respecto a las armaduras, esto es, hacer que la corriente que circula por una de las armaduras pase por un campo distinto al suyo.

Para aliviar gran parte de estas desventajas se puede hacer que las máquinas sean excitadas por separado. Esta excitación tendrá que ser dada por los equipos de servicio del tren. Este método posee una gran capacidad de regulación del esfuerzo de frenado ya que el control se efectúa tanto en la excitación como en la resistencia de carga y tiene la sola desventaja de tener que emplear un equipo de servicio mayor para poder suministrar la excitación.

Debido a las exigencias de control para los trenes del metro este último método de regulación de frenado es el utilizado en los trenes MP-68.

2.2 Equipo JH y circuito de potencia.

2.2.1 Encendido del tren.

Para proveer un nivel de seguridad adecuado, el material JH tiene en su aspecto de control un conjunto de circuitos cuyos elementos lógicos son relés que contienen un programa de actividades para verificar el correcto funcionamiento de distintos elementos.

Al proceder al encendido de un tren, las primeras verificaciones se efectúan en la detección de alta tensión de manera que si esta está presente se accionan diversos circuitos de control que permiten alimentar las máquinas de tracción, el grupo motor-generador y el compresor de aire.

En este punto el combinador se encuentra en neutro por lo que no hay corriente en las máquinas de tracción. Por medio de un circuito de arranque automático el grupo motor-generador se pone en marcha y se obtiene tensión alterna para distintos servicios, entre los cuales se encuentran:

- a) Para operaciones de control y carga de batería de acumuladores se obtienen 70 volts de corriente directa por medio de un transformador y un puente rectificador.
- b) La alimentación del servomotor del combinador con 150 volts de corriente directa de otro grupo transformador-rectificador.
- c) La alimentación de los campos de las máquinas de tracción durante las operaciones de frenado eléctrico.

El compresor de aire también arranca en forma automática y alimenta un tanque de almacenamiento y una tubería de equilibrio, que es un cabezal de distribución que recorre el tren a todo lo largo. A cierta presión de operación se acciona un interruptor neumático que actúa sobre las líneas de control del frenado de emergencia, esto es porque la presión de aire es la encargada del accionamiento de los cilindros de frenado mecánico del tren, el cual es el frenado último.

Una vez que se obtiene la presión de aire adecuada, la tensión de alterna y la tensión de 70 volts de directa regulada, se accionan los relevadores de mantenimiento de preparación. Desde los 70 volts se obtienen

voltajes de alimentación para el resto de los servicios de control y los sistemas de comunicación. De esta manera el operador se encuentra en posibilidad de dar ordenes al tren.

2.2.2 El combinador de arranque y frenado JH.

El combinador de arranque y frenado es el equipo que permite efectuar las conexiones entre los diferentes elementos del circuito de potencia, con el fin de cumplir con las operaciones previstas en la teoría de control.

El combinador de arranque y frenado de tipo JH es un sistema electromecánico en el cual las conexiones en el circuito de potencia se efectúan por medio de contactores accionados por levas. Para cada posición de las levas se establece una topología particular del circuito de potencia. Así, la rotación del árbol de levas mediante un servomotor permite asegurar la sucesión correcta de las operaciones requeridas.

Este combinador JH recibe las ordenes del manipulador y controla al grupo de cuatro motores de una motriz, realizando las siguientes operaciones:

- a) El arranque de tipo reostático regulado crono-amperimétricamente, con cambio de la conexión serie a la conexión serie-paralelo de los motores y con derivación de la corriente del campo para cada conexión.
- b) La conmutación tracción-frenado, que estando en tracción prepara al motor para que funcione como generador con excitación independiente y con los resistores de arranque conectados. Y estando en frenado permite volver a operar en tracción.
- c) El frenado reostático, en el cual los grados de frenado se logran controlando el flujo de la excitación mediante la regulación de la

corriente del campo a través de un amplificador magnético y controlando la corriente de armadura en los generadores por medio de la eliminación de resistores.

- d) La inversión del sentido de marcha, lograda mediante conmutadores que invierten el sentido de la corriente de armadura de los motores.

Puede dividirse el combinador JH en las siguientes partes:

1. Árbol de levas principal y sus contactores.
 2. Accionador del árbol de levas principal.
 3. Inversor del sentido de marcha.
 4. Conmutador tracción-frenado.
1. El árbol de levas principal consiste en una barra de acero sobre la cual están fijas una serie de 24 levas construidas en baquelita moldeada. Estas levas accionan a sus correspondientes contactores que realizan:
- La conexión de los motores
 - Las variaciones de los resistores
 - La derivación de la corriente del campo

Un contactor se compone de un contacto fijo, conectado a la toma de alta tensión a través de una bobina de soplado, y de un contacto móvil dotado de un sistema de muelle, que al ser accionado por la leva provoca la apertura del contactor.

Cada conductor está dotado de una cámara resistente al flameo llamada cámara de extinción y montado en un soporte individual formando un bloque independiente, como puede observarse en la figura 2.18.

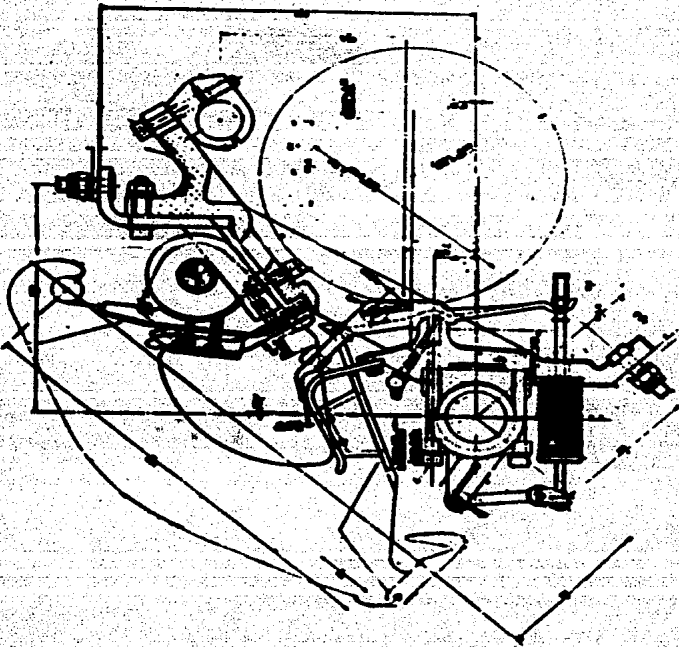


Figura 2.16

2. El accionador del árbol de levas principal se encarga de lograr que este efectue las siguientes operaciones:
- Que avance, es decir, que gire en el sentido que establece la secuencia de los pasos de arranque.
 - Que mantenga la posición en que se encuentra.
 - Que retroceda, esto es, que gire en sentido contrario al avance.

El accionador se compone de los siguientes elementos:

- Un árbol de levas secundario
- Un servomotor
- Un plato con una corona dentada.

El árbol de levas secundario gira junto con el principal, tiene un tamaño menor y un funcionamiento análogo. Establece las conexiones en el circuito de control, que de acuerdo con las señales recibidas del manipulador controlan el servomotor y establecen la sincronización cronoperimétrica, permitiendo efectuar el avance, mantenimiento de la posición o el retroceso del árbol de levas principal que permite cumplir con la orden recibida. La sincronización crono-amperimétrica regula la rapidez con que se deben suceder los pasos de arranque teniendo en cuenta la capacidad de disipación de los resistores. La sincronización cronométrica establece un tiempo para la sucesión de los pasos mediante la calibración del tiempo de accionamiento de un relevador que autoriza el avance. Cuando la carga que soporta la motriz es mayor de $3/4$ de la nominal, un relevador alimentado a partir de la corriente en los motores permite el avance cuando la corriente ha bajado lo suficiente.

El servomotor (SME) es un pequeño motor de corriente directa y excitación compuesta que proporciona el impulso al árbol de levas principal. Dicho impulso es transmitido a través de un plato metálico dotado de una corona dentada y que está unido a un extremo del árbol de levas principal. Un giro completo del servomotor produce el paso de un diente a otro. Por cada diente se establece así una posición del árbol y una topología particular. Las diferentes posiciones se enumeran y reciben el nombre de puntos del combinador. Como el plato se divide en 35

dientes, se tienen 35 puntos del combinador.

Los puntos activos del combinador son los siguientes:

- Punto -2 Conexión para la inversión del sentido de marcha.
- Punto -1 Mando del conmutador tracción-frenado.
- Punto 0 Punto de reposo o neutro, preparación del material.

(en estos tres puntos anteriores los motores no son alimentados).

- Punto 1 a 3 Maniobra.
- Puntos 4 a 15 Motores en serie, campo completo.
- Puntos 15 a 16 Motores en serie, campo reducido.
- Punto 17 Transición de la conexión serie a serie paralelo.
- Puntos 18 a 28 Motores en serie-paralelo, campo completo.
- Puntos 29 y 30 Motores en serie-paralelo, campo reducido.

3. El inversor de sentido de marcha. La inversión se logra cuando la secuencia de puntos 0, -1, -2 se repite dos veces y el árbol de levas principal acciona un sistema de levas análogo que establece los contactos que invierten la conexión de los bornes del motor, invirtiendo el sentido de la corriente de armadura.
4. El conmutador tracción-frenado funciona de manera semejante al inversor del sentido de marcha. Al producirse la secuencia 0, -1, 0 de los puntos del combinador se establecen las conexiones del motor como generador de la excitación independiente y de los resistores.

El conjunto JH está montado en una caja metálica que se encuentra fija dentro de un cofre bajo el carro mediante 4 suspensiones elásticas de tipo Paulstra. Una trenza de masa fija el potencial de la caja metálica

ca. El cableado de control sale por 4 conectores tipo SOCAPEX.

2.2.3 Funciones que realiza el combinador JH.

Durante la tracción el combinador JH establece en el circuito de potencia la conexión de los motores en serie o en serie-paralelo, la variación de la resistencia durante el arranque y la derivación de la corriente del campo. Los diferentes pasos de tracción que se establecen son los siguientes:

- T1 Maniobra.
- T2 Motores en serie con campo completo.
- T3 Motores en serie con campo reducido.
- T4 Motores en serie-paralelo con campo completo.
- T5 Motores en serie-paralelo con campo reducido.

T1 Maniobra. En el punto 1 se efectúa el arranque con la totalidad de la resistencia conectada en serie con los motores. En los puntos 2 y 3 se elimina progresivamente la resistencia.

T2 Motores en serie campo completo. Del punto 4 al 15 hay una eliminación progresiva de la resistencia, hasta que en el punto 15 los resistores han quedado fuera de servicio.

T3 Motores en serie con campo reducido. En este paso de tracción el JH se encuentra en los puntos 15 y 16. En el punto 15 se producen dos pasos de derivación de la corriente de campo de 26% y 46% al accionarse dos contactores electromagnéticos. En el punto 16 ocurre un último paso de derivación del 59% de la corriente de campo efectuado directamente por dos contactores CN-20.

Transición. En el punto 17 se realiza la transición de la conexión de los motores, de la conexión serie a la conexión serie-paralelo por medio del estado del puente y se restablece la totalidad de la corriente de campo.

T4 Motores en serie-paralelo con campo completo. En este paso los dos motores de una misma carretilla se encuentran en serie, y estos a su vez se encuentran en paralelo con los dos de la otra carretilla. Cada par de motores se encuentra conectado con una parte de la resistencia de arranque y cada grupo de motores elimina la resistencia progresivamente hasta sacar de servicio el reóstato. Los puntos que intervienen en este paso son del 18 al 28.

T5 Motores en serie-paralelo con campo reducido. En este paso de tracción el JH pasa por los puntos 29 y 30 donde se realiza una derivación de la corriente del campo de la misma forma en la que se efectuó en el paso T3.

El anterior es el comportamiento del combinador JH durante la tracción.

Para el frenado, en el tran MP-68 éste se encuentra asegurado por dos sistemas diferentes para las motrices (N) y (W):

- Frenado reostático
- Frenado neumático

y el frenado para los remolques (R) está asegurado únicamente por el frenado neumático.

El frenado reostático está normalmente puesto en servicio cuando el operador manda un paso de frenado a una velocidad superior a 12 km/h.

El frenado reostático asegura el frenado para los pasos de frenado F1 a F3, en donde únicamente se persigue una disminución de la velocidad. Con el sistema neumático se asegura el frenado para los pasos F4 a F6 tanto

en las motrices como en los ramolques.

El frenado neumático asegura el frenado para todos los pasos abajo de una velocidad de 12 km/h.

A cada paso de frenado corresponde una intensidad de corriente diferente, la cual es transmitida a todos los carros salvo para el paso FU en el cual no exista alimentación.

En frenado reostático los motores de tracción funcionan como generadores de excitación independiente y alimentan al reóstato.

El valor de la corriente que circula por las armaduras conectadas en serie permanezca en un valor medio, debido a una eliminación progresiva de las resistencias del reóstato, que provoca una desaceleración media constante del tren.

La intensidad que circula por los campos, también conectados en serie, permanece constante para una posición de frenado dada.

A las tres primeras posiciones de frenado, F1 a F3, corresponden tres valores de corriente de excitación; en las otras tres posiciones de frenado, F4 a F6, el valor de la corriente es el de la posición F3, siendo proporcionado el esfuerzo resistente suplementario por el frenado neumático.

Cuando se manda una posición de frenado a una velocidad superior a 12 km/h, el combinador de arranque y frenado JH regresa a la posición 1, lo que tiene por efecto:

- Conectar el reóstato de arranque a las armaduras de los motores de tracción.

- Cerrar el contactor de excitación en frenado, lo que permite la alimentación de los campos y establece el frenado reostático.

2.2.4 Descripción topológica.

El circuito de potencia (fig. 2.19) se compone de diversos elementos como son: motores de tracción de corriente directa, contactores comandados por el combinador JH, así como dispositivos de protección: fusibles, disyuntor "DET" y relevadores contra sobrevoltaje, bajatensión y sobrecorrientes.

Durante la tracción el cilindro auxiliar Tracción-Frenado (TF) cierra los seccionadores "ST" y los contactores se encargan de hacer las diferentes conexiones de los motores con el reóstato y el campo.

Durante la conexión serie de los motores, los contactores CR2, CRP, CEM y CR1 hasta CR13 se accionan siguiendo el programa comandado por el JH; con esto se logra la eliminación progresiva del reóstato. La configuración simplificada se observa en la figura 2.20. Para la transición de la conexión serie a serie-paralelo de los motores, los contactores CX1, CX2, CP1 y CP2 se accionan quedando la conexión simplificada que se muestra en la figura 2.21. En la conexión serie-paralelo nuevamente se utilizan los contactores que se accionaron en la conexión serie. La conexión simplificada serie-paralelo se observa en la figura 2.22.

Para el frenado se utilizan los mismos contactores, pero el TF en este caso cierra los seccionadores "SF" y abre los "ST", quedando una configuración como la que se aprecia en la figura 2.23. En la figura se observa un rectificador "WER" que es el que regula el campo permitiendo la regulación de la corriente durante el frenado.

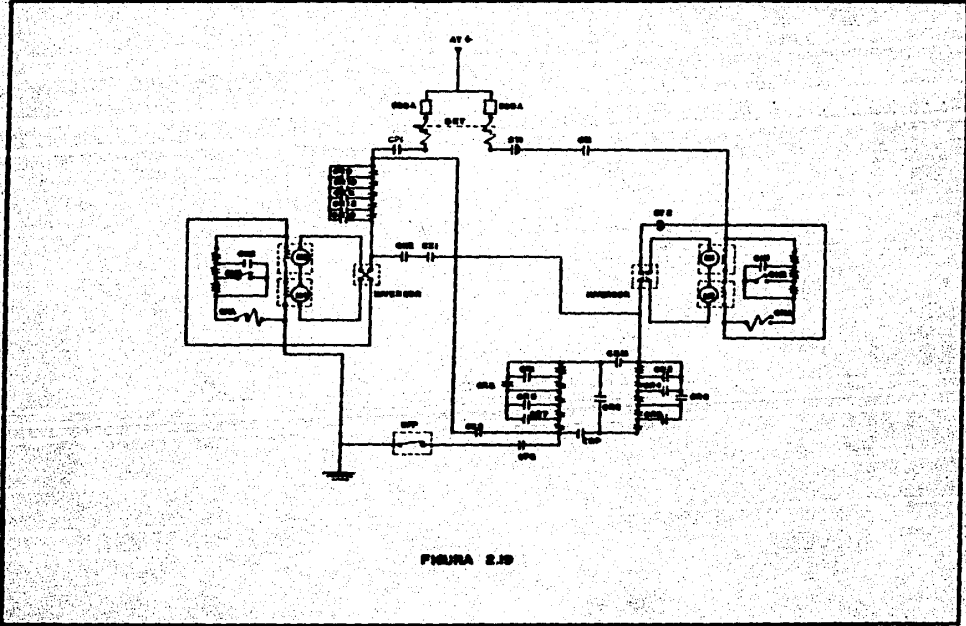


FIGURA 2.10

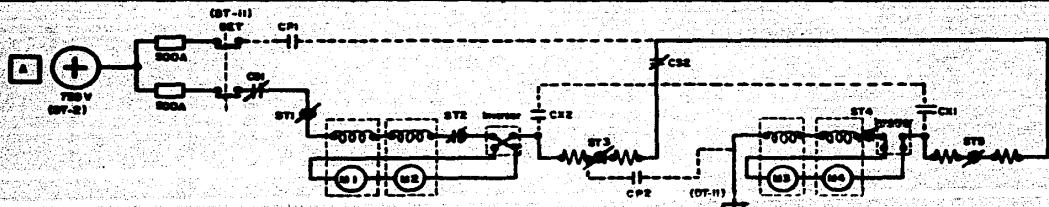


FIG. 2.20

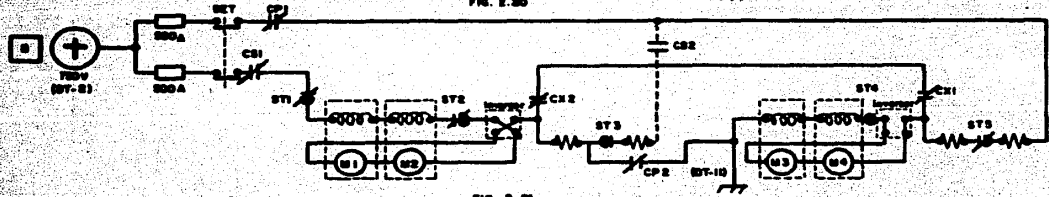


FIG. 2.21

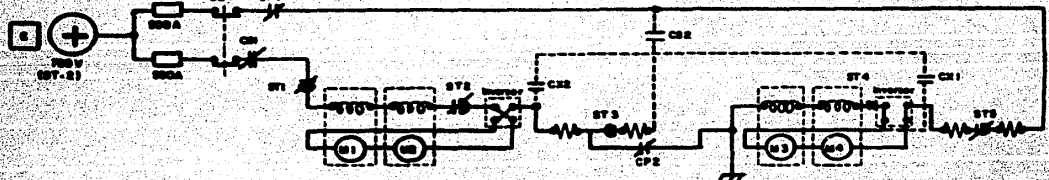
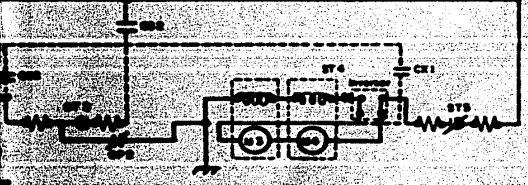
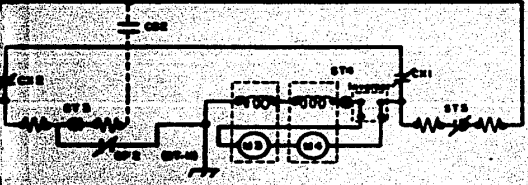
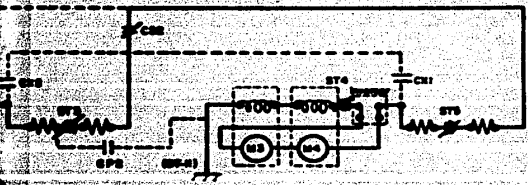
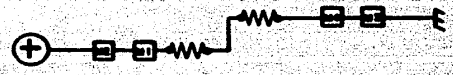


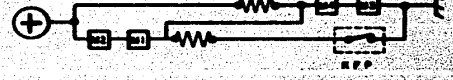
FIG. 2.22



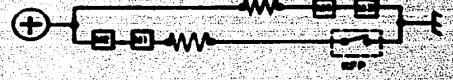
CONEXION EN SERIE



TRANSICION (POSICION 17)



CONEXION EN SERIE - PARALELO



CIRCUITO EN FREMADO

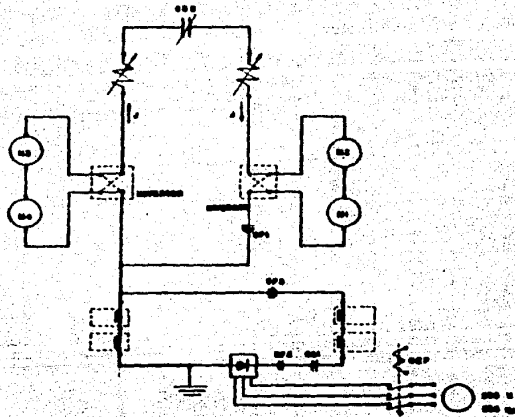


FIGURA 2.23

2.3 Origen de las fallas en el JH.

Como ya se ha visto en los subcapítulos anteriores el principal inconveniente del combinador JH es su gran cantidad de partes electromecánicas que además de necesitar mucho mantenimiento son más susceptibles de fallar en operación que los componentes electrónicos.

El principal componente electromecánico es el interruptor de circuitos en sus distintas modalidades. Las partes principales de este componente son: Un elemento fijo, un elemento móvil, los contactos y las terminales con las que se enlaza al resto del circuito. Además existen otras partes alrededor que ayudan a realizar su función como son los mecanismos accionadores, elementos de extinción de arco, limpieza de contactos, lubricación de partes móviles, etc.

Un interruptor de circuitos tiene dentro de su especificación una característica que es de especial importancia para el estudio del combinador JH y es la capacidad interruptiva.

2.3.1 Capacidad interruptiva.

En general el circuito a interrumpir como en el caso de estudio puede representarse como un inductor con una cierta cantidad de energía almacenada en forma de corriente, un resistor y el interruptor, todos ellos colocados en serie.

La resistencia del circuito (representada por el resistor) es en general pequeña y al interrumpirse el circuito la corriente baja rápidamente por lo que su contribución a disipar la energía del inductor es pequeña, de esta manera la mayor parte de la energía en forma de corriente del induc-

tor será intercambiada con el ambiente en el interruptor.

En el estado cerrado del interruptor se tiene una cierta capacidad disipativa de régimen permanente, esto por las pérdidas en los contactos y articulaciones. Además de esto el interruptor debe poder disipar la energía almacenada en el circuito en el momento de la interrupción sin que sufra daños en los contactos e intercambiando esta energía rápidamente con el ambiente para poder eliminar el arco y así restablecerse y poder volver a operar.

2.3.2 Teoría de interrupción de circuitos.

El arqueo en los contactores que abren un circuito eléctrico sucede por la presencia de sobretensiones provocadas por las inductancias del circuito, ya sean propias o por los elementos conectados a él, esto es:

$$V = L \, di/dt$$

Donde:

V es la tensión en el circuito inductivo

L es la inductancia que presenta el circuito

di/dt es la rapidez con la que varía la corriente.

Al interrumpir un circuito deseamos que la corriente se anule desde un valor de operación. Esto produce que la rapidez con la que varía la corriente sea muy grande y por tanto la tensión que se provoca puede ser también muy grande.

Para provocar un arco se requiere que el medio donde los contactos del interruptor se abren sea conductor, esto es que existan iones libres. Un medio dieléctrico como la atmósfera tiene una cantidad muy reducida de iones

libres y se necesita de una gran cantidad de energía para producirlos, esto es por que se requiere que átomos o moléculas muy excitados del gas tengan impactos tales que se disocien llegando a perder un electrón. La excitación de las moléculas de un gas se da por su velocidad y la velocidad media de las partículas de un gas se puede asociar a su temperatura, de ahí que para llevar a un gas al plasma (estado conductor) se requiere de temperaturas sumamente altas, esto es alrededor de 6000 K para el aire a presión atmosférica. Esta energía se la proporciona al medio por dos procesos a saber:

- 1) Por emisión termoiónica de electrones. Las superficies de los contactos en el momento de disminuir la fuerza que los une para iniciar su separación, sufren una disminución de área con lo que aumenta la resistencia efectiva de contacto mientras que la corriente se mantiene esencialmente constante; se produce por tanto una mayor liberación de energía en un volumen muy reducido provocando un gran aumento de temperatura pudiéndose alcanzar las temperaturas de emisión termoiónica del metal del contacto.
- 2) Por gradiente de voltaje. En el punto de separación de los contactos se ha producido un aumento de resistencia a corriente constante lo que provoca una mayor caída de potencial. Al instante de iniciarse la separación se tiene un gradiente de tensión lo suficientemente alto para iniciar el salto de electrones de un contacto al otro.

Los electrones emitidos de estas maneras tienen suficiente energía como para disociar las moléculas del medio y así producir una ionización del medio, o dicho de otra manera el aire se vuelve conductor.

El arco tendería a mantenerse hasta disipar toda la energía del circuito.

Esta pulea no ser muy grande, pero la velocidad con la que sucede al fenómeno

no es muy alta lo que quiere decir que existirá una gran potencia térmica.

La energía del arco se disipa por convección a la atmósfera y conducción al medio circundante. El calor transmitido por conducción a los contactos produce en estos elevadas temperaturas. Si el arco permanece por un tiempo muy prolongado puede provocar fusión en la cubierta de los contactos, si el interruptor se vuelve a cerrar los contactos se enfrían y quedan pegados (soldados).

Para evitar esto se usan distintas técnicas de soplado de arco esto es, se actúa sobre el arco con una fuerza de manera que se deforma y se alarga aumentando su resistencia.

En interruptores de media capacidad el soplado es magnético. Ya que el arco eléctrico está formado por cargas libres en movimiento es susceptible de que un campo magnético actúe sobre él. Aprovechando la misma corriente a interrumpir, se colocan bobinas que dirigen su campo magnético hacia el punto donde se producirá el arco, este se extenderá perpendicularmente (producto vectorial de la velocidad y el campo magnético) sobre un dispositivo conocido como cámara de extinción. En él existe un laberinto donde se propaga el arco aumentando su longitud. De esa manera aumenta el área de disipación de energía y la resistencia de arco por lo que se elimina más rápidamente e intercambia el calor con el medio ambiente por lo que se evitan daños al interruptor de circuitos.

2.3.3 Origen de las fallas.

Una de las fallas en interruptores de circuitos es que el elemento móvil no abra o que los contactos se queden pegados, esto sucede principalmente

en interruptores que manejan grandes corrientes.

Como ya se había visto, en el interruptor al abrirse se provoca un arco eléctrico que transfiere su energía al medio. En operación normal poca de esa energía va hacia las partes del interruptor, manteniendo baja su temperatura. Como se vió también la exigencia del material ha aumentado grandemente desde su puesta en servicio y la operación de los distintos componentes ha alcanzado niveles máximos. Así además de otras causas que se discutirán adelante la operación de los contactores del combinador JH y en especial el grupo central que abre con carga es excesiva provocandose una gran contaminación de calor en los interruptores hasta que en los contactos se llega a mantener la temperatura de fusión del material con el que están hechos y si cierran en esta condición se provoca el soldado de estas partes, quedando así pegado el interruptor. Al quedar pegado un interruptor y proseguir el avance del combinador JH se establecen topologías no diseñadas en el circuito de potencia con la posibilidad de causar circuitos cortos o de muy baja resistencia y por tanto quemando fusibles de tracción en el mejor de los casos y provocando daños en el equipo en el peor.

Otra de las fallas en interruptores es la de contactos sucios. Esta falla afecta principalmente a los interruptores de señales de control. Los interruptores del combinador JH tienen un mecanismo de limpieza de contactos; al cerrarse el interruptor se ejerce una fuerza extra que presiona los contactos de manera que se dá un pequeño deslizamiento friccionando las pastillas entre sí y limpiandolas. Nuevamente al interrumpir el circuito la energía de arco calienta las pastillas de los contactos, un material sólido al aumentar su temperatura se hace más susceptible al óxido y la naturaleza de este es no conductora. El mecanismo de auto limpieza es li-

mitado y al exigirse más del material el mantenimiento debe ser más frecuente y también aumenta la posibilidad de que los interruptores dejen de operar en servicio. El tener señales equivocadas en la parte de control es obviamente nefasto.

Por otra parte el combinador JH presenta otros inconvenientes puramente mecánicos. La programación del accionamiento de interruptores está dada por levas montadas en una flecha. Como el accionamiento de los interruptores es de tipo binario las levas tendrán dos niveles con transiciones abruptas. En estas transiciones como es obvio de suponer la leva sufre sus mayores esfuerzos y por tanto mayor desgaste. En operación normal esto puede ser fácilmente prevenido pero nuevamente la exigencia que se le da al material puede provocar fácilmente desgastes prematuros que conducen a errores en sincronía de apertura o cierre de interruptores. Si ahora consideramos el circuito de potencia se puede ver que algunos interruptores se accionan al cierre para evitar que otros operen con carga, si la sincronía no es adecuada esta función carece de sentido obligando a los interruptores a operar fuera de condiciones normales.

En el caso de los interruptores de control el rayado o desgaste de las levas no solo tiene consecuencias de pérdida del programa sino que el polvo de las levas contamina los contactos de otros interruptores evitando su correcto funcionamiento.

Otra parte mecánica que participa del origen de las fallas en el combinador JH es el mecanismo de accionamiento de los contactores CM-20. Este mecanismo está compuesto por rodamientos varillas de empuje y articulaciones varias que actúan sobre el elemento móvil del interruptor. Estas piezas

al tener un mal ajuste o una lubricación inadecuada provocan esfuerzos desiguales en el elemento móvil, la articulación del elemento se ve afectada por este apoyo desigual desgastándose en forma anormal y reduciéndose su área de contacto. Por lo mismo las pastillas de contacto apoyan en forma incorrecta también reduciendo su área de contacto. Esto provoca necesariamente un aumento en las pérdidas del contactor aumentando su temperatura de operación llegando al grado de fundir partes, el soldado de las pastillas de contacto y hasta falla total del contactor por exceso de temperatura.

El sistema es pues tan sensible, por su operación tan exigida, que incluso algunas operaciones de mantenimiento sencillas repercuten en el estado del material; tal es el caso de un tornillo que sujeta la bobina de soplado de arco eléctrico, que al no recibir el apriete adecuado (no especificado en los manuales de JH) provoca el calentamiento y pérdida de aislamiento en la bobina de soplado reduciendo su efectividad y por tanto conduciendo a la destrucción del contactor.

Por último, otro de los inconvenientes propios del sistema de control reactivo es su ineficiencia y esto no solo por el desperdicio de energía que se produce sino por que esa energía se transforma en calor en el bajo-chasis de los vagones motrices.

Como se vio en otra parte del trabajo al tener un cambio de conexión de máquinas se disipa en el reostato el 33% de la energía proporcionada al tren, esto es aproximadamente la mitad de la energía cinética que al momento de frenado se convierte en calor en las ruedas y en el mismo reostato. Se convierte pues el reostato en una fuente de calor que en el diseño original se enfría naturalmente por el movimiento del tren y artificialmente por

unos pequeños ventiladores. El uso pesado del material, la temperatura ambiente superior y la mayor inercia térmica de las paredes de los túneles hacen que la disipación de esa energía hacia el medio ambiente sea menos efectiva.

Este calentamiento repercute en el resto del material; primero en el aislamiento del cableado, deteriorándolo rápidamente, segundo aumentando la temperatura ambiente a la que opera el equipo electromecánico en general.

Una idea que a primera vista parece adecuada se ve obstaculizada por el calor emitido desde el reóstato. Así es, pensar en la sustitución de algunos elementos electromecánicos por electrónicos se complica por consideraciones de calor. Se tiene por ejemplo la sustitución del relevador RXS que es el que asegura el avance o retroceso del servomotor del JH y es uno de los elementos que más fallas tienen. Se decidió pues aligerar su carga permitiendo que un grupo de tiristores realizaran su función dejando que el relevador manejara la señal de compuerta para aquellos. Esta solución a pesar de ser sencilla de concepción ha tenido graves dificultades para realizarse debido al calor procedente del reóstato.

2.4 Estudio estadístico de las fallas en el MP-68.

Como parte del análisis de las fallas, se realizó un estudio estadístico de los elementos del equipo de control y de potencia, que al fallar provocan la inactivación de una motriz del material MP-68, estos se obtuvieron a partir de los reportes mensuales de averías (conocidos como sábanas de averías) de los diferentes talleres de mantenimiento.

2.4.1 Clasificación.

Las fallas cuya procedencia no estaba bien especificada (por ilegibilidad, falta de información o incoherencia de los datos en los reportes), o que pertenecían a elementos relativamente menos importantes para el análisis (como para especificarlos) se acomodaron en el punto 7 de la clasificación llamado "varios", agrupándolos según el tipo de elemento cuando esto era posible, cuando no, se los puso como "indeterminados".

Como los fusibles propiamente no fallan, sino que actúan al presentarse, o para evitar una falla en el equipo se consideran solo los más importantes, eliminándose del listado aquellos con menos de 30% de fallas por año y agregando su contabilidad al punto 7 ó "varios".

La agrupación y clasificación quedó entonces como sigue:

1. Ruptores auxiliares

- a) Agrupación de ruptores de acuerdo a su numeración propia.
- b) Tablilla de ruptores.

2. Relevadores

- RES (relevador de inversión del sentido de rotación del SME)
- ECR (relevador de mando de regresión)
- BCP (" " " " progresión)
- RFV (" " progresión y bloqueo)
- RQI (" " mando de los relevadores de intensidad)
- RVS (relevador de vigilancia del SME)
- RPR (" " progresión-regresión)
- RSP1 (" " paro de la progresión (asimetría))
- RSP2 (" " " " " " (cronometría))

EVA (relevador de vigilancia de funcionamiento)
RCD (" " mando del disyuntor)
RSP (" " substitución de los frenos)
RTP (" " acoplamiento tracción-frenado)
RSR (" " supresión del frenado reostático)
RNP (" " neutralización del frenado neumático)
RVR (" " mando adelante-atrás)
RFU (" " frenado de urgencia)
RRH (" " freno reostático inactivo)
RES (" " pruebas en vacío)
RMP (" " mantenimiento de la preparación)
RVD (" " vigilancia de partida)
RUP (" " tensión en paralelo)
RAB (" " alimentación del contactor de arranque del motor-
alternador)

RAV (paro de la ventilación)

3. Bloques electrónicos y de relevadores

LT (relevadores del mando local "tracción")
ST (bloque de sincronización crono-amperimétrica)
DS (bloque de los relevadores de neutralización del combinador y de
mantenimiento del disyuntor)
QS (cajón de mando del SME)
WAS (puente rectificador del circuito de alimentación del SME)
JS1 (grupo de relevadores servo-contacto)
JS2 (" " " " " ")
PR (tarjeta electrónica de progresión-regresión)
LC (relevadores de corriente QIS-QIP)

LF (relevadores de mando local del freno)
QFE (regulador de tensión del frenado reostático)
QFF (relevadores de progresión del JH en frenado)
QSF (relevador de sobrecarga en frenado)
QDF (" " inicio del frenado)
QID (regulador electrónico de corriente del desfrenado)
QV (bloque de control de velocidad)
CV (relevadores de control de velocidad)
QUB (regulador de la tensión de batería)
FM (relevadores de preparación del material y relevadores diversos)
GC (relevadores del pupitre)

4. Contactores

a) Tensión nominal 750 volts corriente directa

DET (interruptor automático)
CHA (contactor electromagnético de puenteo)
CHB (" " " ")
CHI (contactor de puenteo)
CFI (contactor de levas de conexión en paralelo)
CSI (contactor de levas de conexión en serie)

b) Tensión nominal 250 volts corriente directa

DAS (disyuntor de alimentación al SME)
DAV (" " " a los ventiladores)
DAA1 (" " " en CA motriz adelante)
DAA2 (" " " " " " atrás)
CAS (contactor de alimentación al SME)
CAV (" " " " ventilador)
CEV (" " " excitación en frenado)

5. Fusibles

102-112

102-115B

102-119

102-483

111-112

111-113

8-8A

10-10A

11-11A

750 Amperes - 750 Volts

500 Amperes - 750 Volts

5 Amperes - 750 Volts

6. Dispositivos diversos

SME (servomotor de accionamiento del JH)

TF (conmutador tracción-frenado)

Inversor de sentido de marcha

KIT (conmutador de aislamiento a la tracción)

Trinquete

Resistores del reóstato

Tablas del reóstato quemadas

ventiladores del reóstato de arranque

Motores de tracción

Tomas SOCAPEX

Escobillas positivas

7. Varios

- a) ruptores
- b) relevadores
- c) bloques
- d) contactores
- e) fusibles
- f) diodos
- g) hilos
- h) indeterminados (OFNI, Objetos Fallados No Identificados).

2.4.2 Concentración de datos.

Se propuso para el análisis un periodo de un año, finalmente se consideró un periodo de 14 meses que va de enero de 1984 a febrero de 1985. En este periodo, el material MP-68 sufrió una serie de cambios en su ubicación, en contrándose de enero a septiembre en las líneas 2 y 4, posteriormente en octubre parte del material pasa a la línea 5 y en diciembre otra parte a la línea 7. Así, se puede observar la política de utilizar el material MP-68 en las nuevas líneas (con un nivel de exigencia menor).

Se presenta entonces, el concentrado de las fallas de los elementos por mes y por líneas. Así mismo, se presentan las fallas totales por elemento al final del periodo y la suma total mensual de fallas de cada tipo de elemento. También se encuentra el número de trenes mensuales en cada línea y el número total mensual, así como el promedio de trenes por mes. Este concentrado de datos del material MP-68 se encuentra en el anexo A.

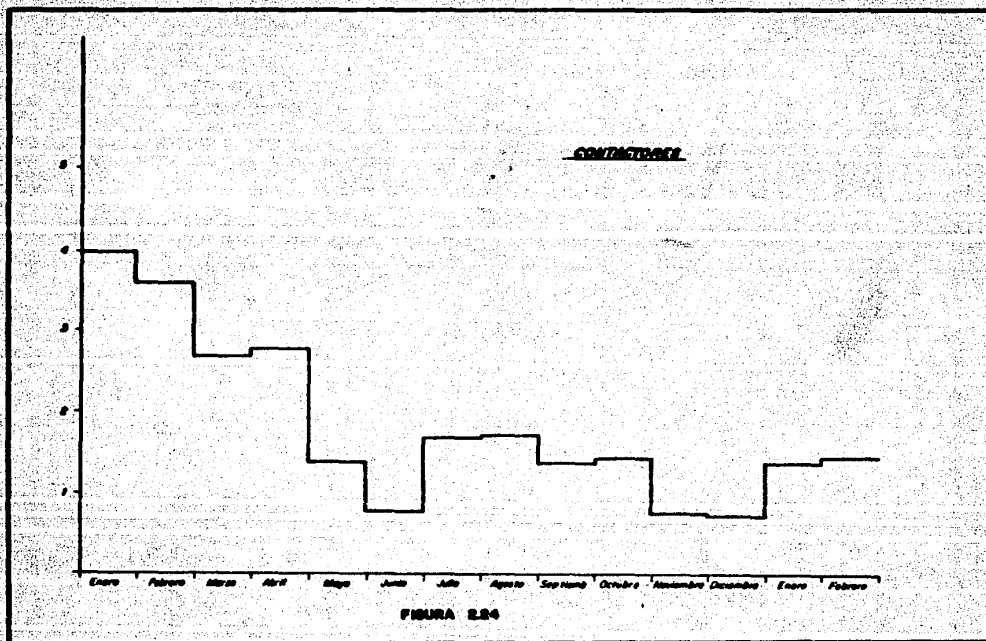
Del concentrado de datos se nota que las fallas de los elementos son consistentes a lo largo del periodo estudiado. Para ilustrar el comportamiento

to de los elementos principales, en cuanto a las fallas que provocan la inactivación de una motriz, se presentan dos tipos de histogramas: los primeros muestran el número total de fallas de todos los elementos de un grupo (ruptores, contactores, etc.) por mes a lo largo del periodo analizado; en los segundos se analiza por grupo cada elemento en cuanto a sus fallas anuales promedio. Todos los datos se encuentran en por tren.

2.4.3 Histogramas.

En los primeros histogramas (figuras 2.24, 2.25, 1.26, 2.27) se puede observar primero que al principio del periodo analizado la cantidad de fallas es muy grande, esto se debe al problema que se presentó a la reconexión del tercer paso de puenteo y que se menciona en el capítulo I; después como consecuencia de la intensificación del mantenimiento preventivo y de la política de destinar el material MP-68 a líneas con menos exigencias de trabajo, se tiene una disminución paulatina de las fallas, sobre todo para el caso de contactores y bloques, a un nivel que aunque mas razonable es aún bastante alto. Para el caso de los ruptores se produce a mediados del periodo un brusco incremento de las fallas, este corresponde al problema relacionado con las soguillas (también mencionado en el primer capítulo), que poco tiempo después fueron eliminadas regresando al comportamiento anterior.

De los segundos histogramas (figuras 2.28, 2.29, 2.30, 2.31) se puede notar como la distribución de fallas, y esto lleva a pensar que de las exigencias de trabajo, es muy desigual, casi exponencial. Además existen elementos que presentan cantidades excesivas de fallas, que pueden deberse a que operan bajo condiciones que de alguna manera no son normales, o a que hay un error en el diseño.



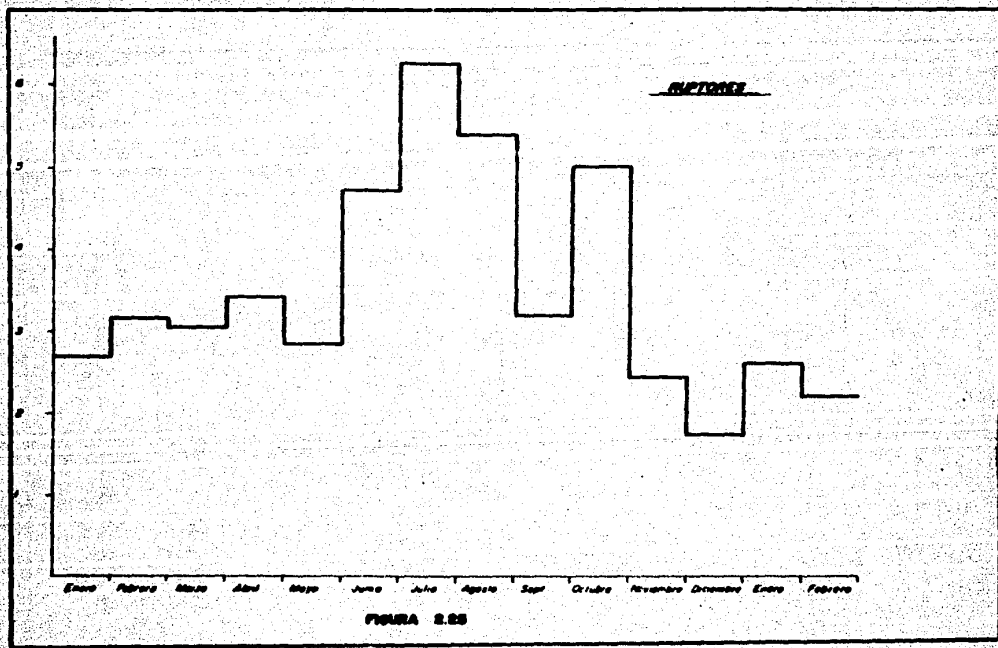
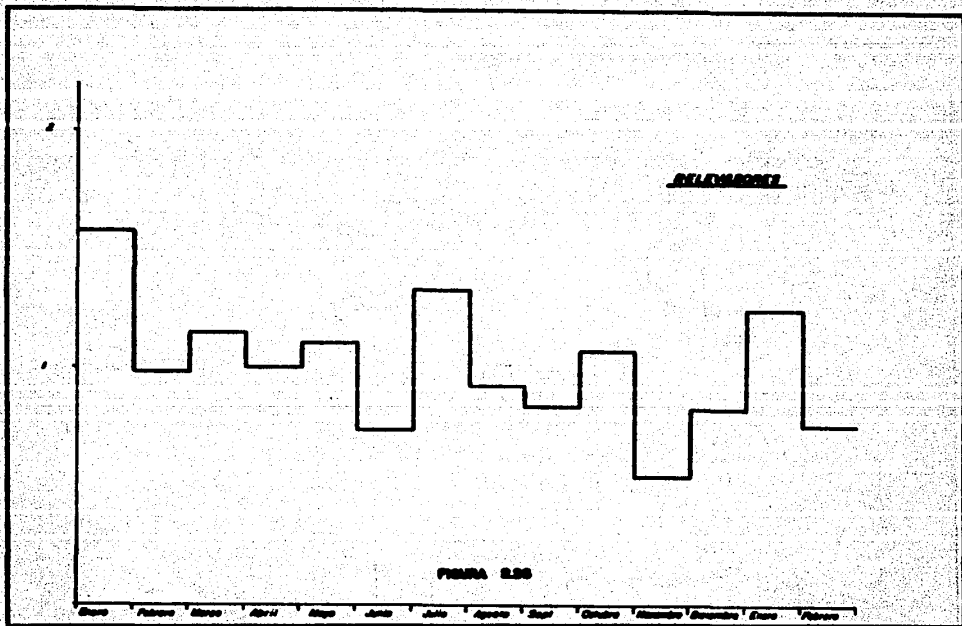


FIGURA 2.25



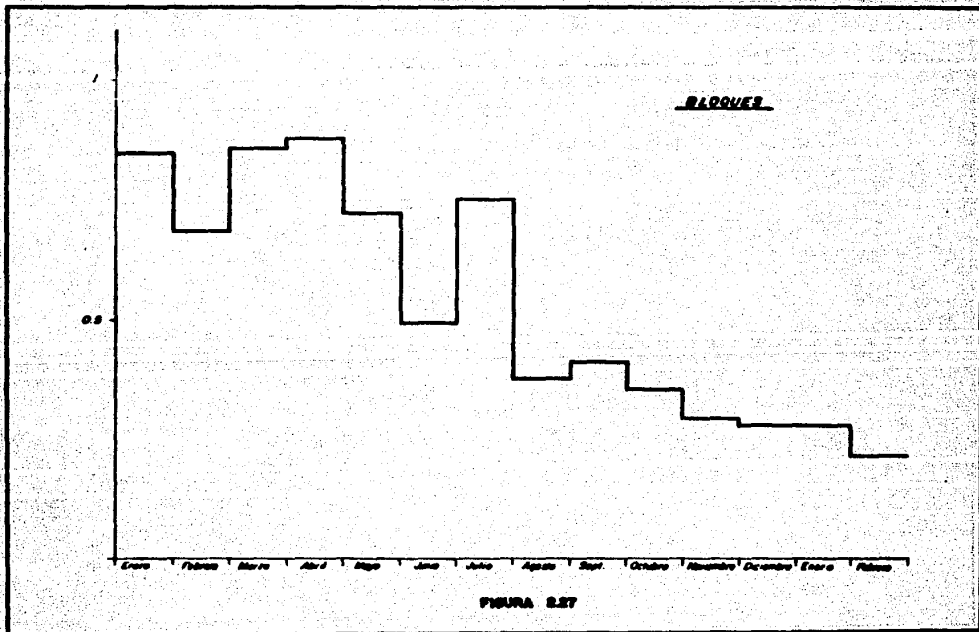
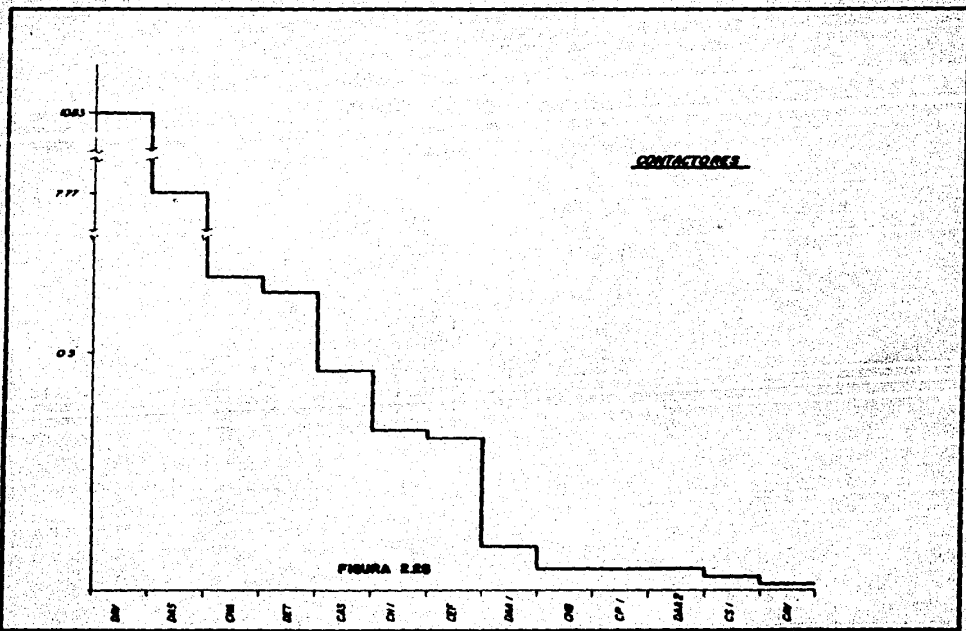


FIGURA 2.27



RUPYGA

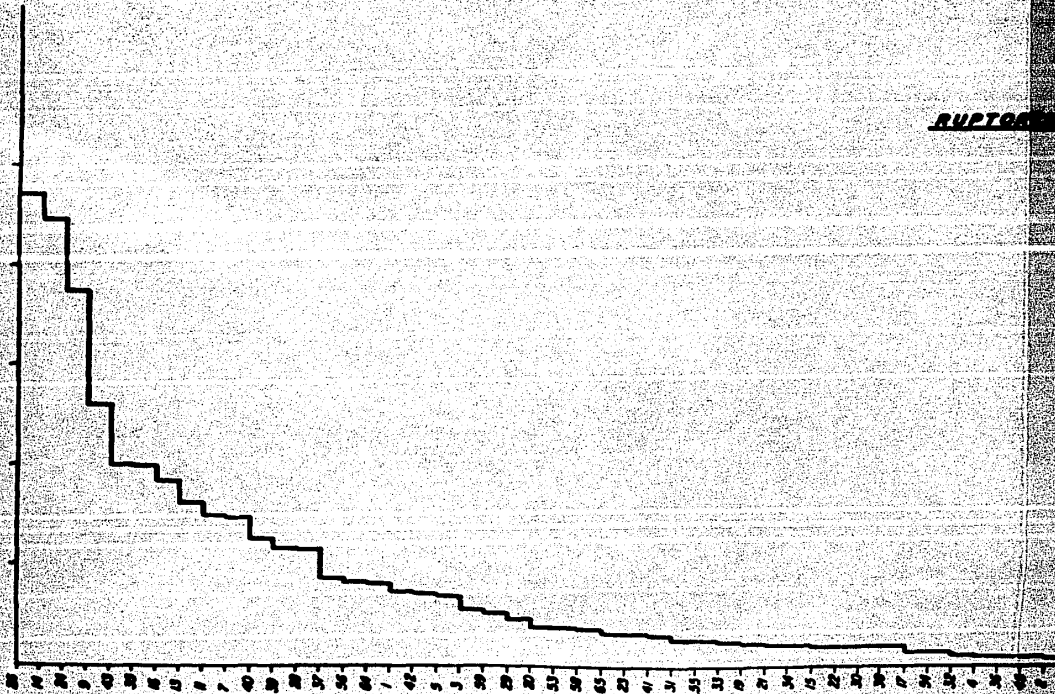


FIGURA 2.29

RUPTORES

FIGURA 2.29

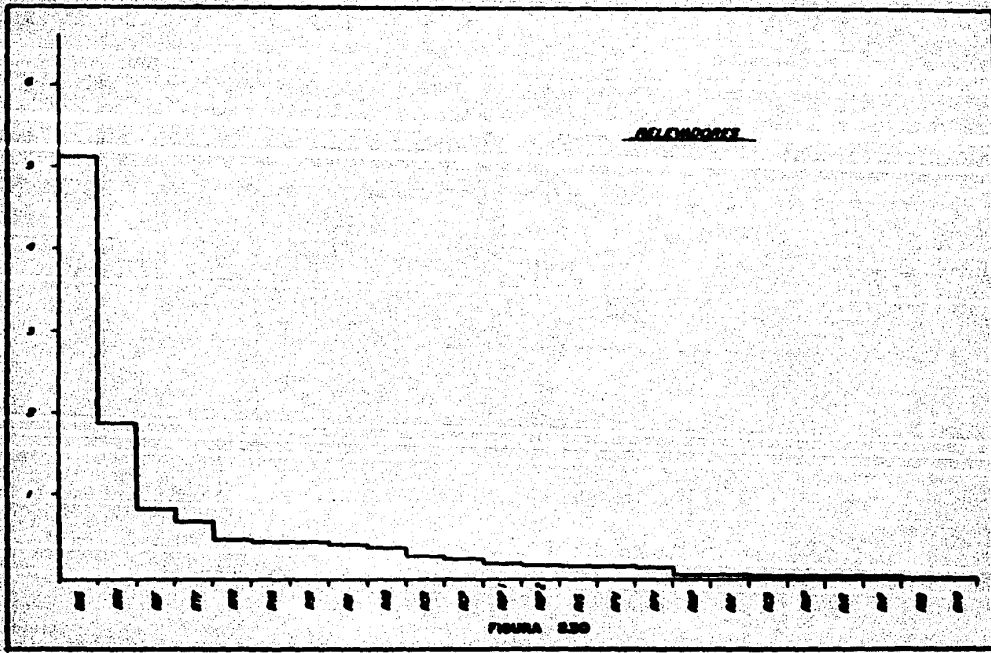
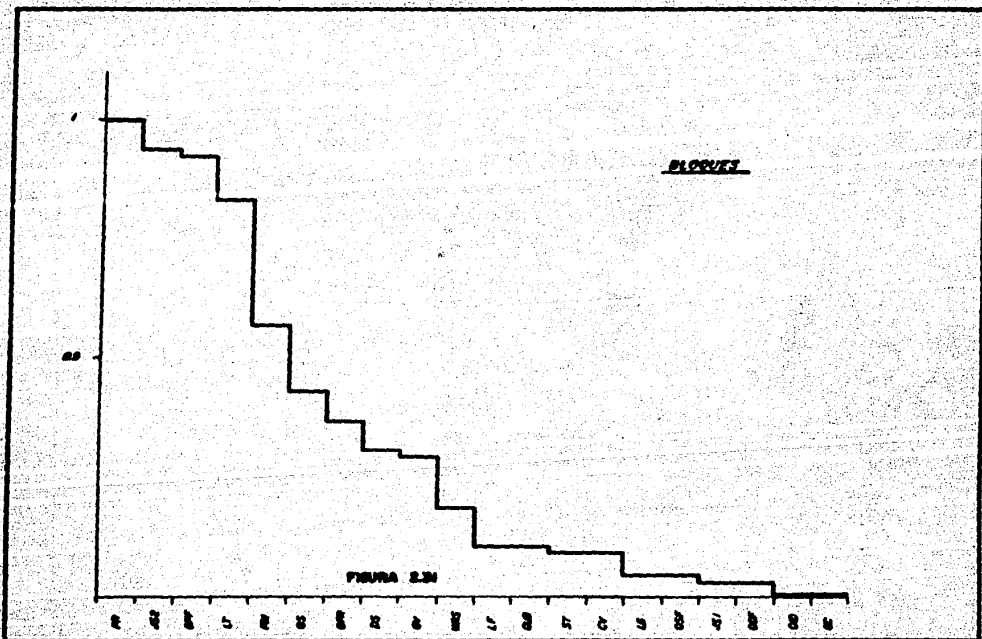


FIGURA 830



3. COSTOS DE OPERACION DEL EQUIPO JH.

En el primer subcapítulo se explica la forma en que se consideran los costos de operación.

Se analizan posteriormente, tanto el mantenimiento como el consumo de energía del JH. En cuanto al primero se hace, en el subcapítulo segundo, una descripción de las actividades que se realizan; de los costos de mano de obra y de las refacciones necesarias.

Para el subcapítulo tercero, se presenta primero un análisis de energía del tren; después los algoritmos, listados y gráficas utilizados para el análisis del consumo de energía, de acuerdo con las operaciones que realiza el tren; y finalmente se obtiene el costo de este consumo de acuerdo con las características del acondicionador de energía, descritas en el capítulo anterior.

3.1 *Análisis de los costos de operación.*

Para la evaluación económica es necesario estimar los costos de operación de los trenes. Debido a la diferencia en cuanto a la evaluación técnica, se toman como costos de operación dos entidades distintas:

1. Mano de obra y materiales necesarios para mantener al material funcionando, denominando a estos como costo de mantenimiento.
2. La energía necesaria para mover al tran que multiplicada por el costo de la energía da lo que se denominó como costo de consumo de energía.

3.2 *Mantenimiento del JH.*

Para el mantenimiento realizado al equipo JH se consideran tres actividades fundamentales:

- A) Pruebas de entrada.
- B) Mantenimiento menor.
 - B.1 Mantenimiento sistemático.
 - B.2 Mantenimiento cíclico.
- C) Mantenimiento mayor.

3.2.1 *Actividades del mantenimiento.*

El objetivo de las pruebas de entrada es el de detectar posibles fallas en el equipo con el fin de repararlas posteriormente durante la realización del mantenimiento.

El mantenimiento menor consiste en la revisión general del equipo JH, cumplíndose labores de limpieza, lubricación y reemplazo de partes con des-

gaste excesivo o dañadas. Este mantenimiento se realiza dentro de la misma área de las pruebas de entrada y estando el equipo JH montado al carro.

Durante el mantenimiento mayor, el equipo JH es desmontado y trasladado al área de revisión general. En esta área se realiza el desarmado completo del equipo, limpieza, lubricación y revisión de todas sus partes, sustituyéndose o reparándose las piezas que lo requieran.

Las actividades realizadas durante cada uno de estos mantenimientos son las siguientes:

A) Pruebas de entrada.

- Progresión-Regresión
- Desajuste de levas
- Inversiones para revisión de mecanismos
- Seccionadores
- Chisporroteos del SME

B) Mantenimiento menor.

B.1 Mantenimiento sistemático

Limpieza, verificación del estado y del funcionamiento de los siguientes elementos:

- Tornillería y bananas
- Contactor CEP
- Contactor monobloque CM-20
- Contacto móvil
- Mando del TF e Inversor
- Seccionadores
- Contacto fijo

- Mechas (L)
- Conmutador KFP (L)
- Camaras de extinción
- Deflectores
- Contactos auxiliares
- Grupo LS (5).

B.2 Mantenimiento cíclico.

Limpieza, verificación del estado y del funcionamiento de los siguientes elementos:

- Cada 3 meses
 - Contactor CEF
- Cada 4 meses
 - Ruptores auxiliares
 - Contactores principales (L)
 - Comando del árbol de levas (L)
 - Captor magnético (L)
 - Mando del inversor (L)
 - Mando del TF (L)
 - Contactores del inversor y del conmutador TF (L)
- Cada 6 meses
 - Ruptores auxiliares
- Cada 12 meses
 - Contactores principales (mecha) (L)
 - Contactores principales (rodillos de las levas de maniobra) (L)
 - Contactores principales (rodillos y superficies de contacto) (L)

Los siguientes elementos no requieren de ningún mantenimiento especial, solo de una inspección visual, limpieza y un control del apriete de sus conexiones:

- Resistencia de derivación
- Relé de arranque y frenado
- Fusibles
- Tomas PAT
- Bloques ST
- Cajas de conexiones ECC-BCD-BCG.

C) Mantenimiento mayor

Limpieza, verificación del estado y del funcionamiento de los siguientes elementos:

- Contactor CEF
- Contactos fijos
- Contactos móviles
- Cámaras de extinción
- Contactos auxiliares
- Deflectores
- Mecanismo del mando del inversor y del conmutador TF (L)
- Muelle del mecanismo del inversor (L)
- Muelle del pestillo del inversor (L)
- Leva metálica del mecanismo del inversor (L)
- Muelle del mecanismo del conmutador TF (L)
- Leva metálica del mecanismo del TF (L)
- Tensor del mecanismo del conmutador TF (L)
- Resorte del pestillo del mecanismo del TF (L)

- Sriba (L)
- Tensores del mecanismo del inversor (L)
- Soportes del muelle del inversor (S)
- Brida del mecanismo del inversor (S)
- Biela metálica del mecanismo del inversor (S)
- Palanca del mecanismo TF (S)
- Amortiguador del mecanismo TF (S)
- Brida del mecanismo TF (S)
- Mando del TF e inversor
 - Contactores del TF e inversor (L)
 - Tablilla de ruptores del inversor (L)
 - Cilindro auxiliar del inversor, del TF e inversores (L)
 - Tablilla de ruptores del TF (L)
- Contacto móvil del TF e inversor (L)
 - Rodamiento de eje
 - Punto de contacto
 - Arandela
 - Anillo elástico de retención
 - Asiento del punto de contacto
 - Apoyo de la cazoleta
 - Remache
 - Pasador elástico
- Mando del árbol de levas. Captor magnético. Servo-Motor (s)
 - Motor
 - Porta escobilla
 - Brazo de articulación
 - Manguito manivela

Servo-motor
 Escobilla (carbón)
 Biela del brazo de articulación
 Cilindro auxiliar
 Biela del captor magnético
 Soporte del muelle del brazo de articulación
 Tapa de ventanilla de inspección del servo-motor
 Tapa fija del cilindro auxiliar del servo-motor
 Tapa móvil del cilindro auxiliar del servo-motor
 Tomas de alimentación al servo-motor
 - Cilindro auxiliar del SME (L) (S)
 Tablilla de ruptores
 Aislador Micaver
 - Ruptores auxiliares (L)
 Tornillo "STR"
 Fleje de contacto fijo
 Porta fleje
 Contacto móvil
 Palanca de contacto móvil
 Toma SOCAPEX
 Conjunto muelle
 Gufa
 Mótula (S)
 - Contactor monobloque CM-20 (S)
 Cuerpo del contactor
 Aletas del contactor o placas anti-magnéticas
 Tornillo superior de fijación de la inductancia de deflexión

Tuerca baja del conjunto muelle
 Tornillo de conexión de alta tensión
 Biela de casquete fija
 Eje porta cámaras
 Pantalla
 Pastilla
 Remache y arandelas
 Superficie de contacto con la rótula
 Rodillo
 Conjunto rodillo
 Superficie de contacto de la rótula
 Muelle
 Soporte muelle
 Tija
 Horquilla del contacto móvil
 Rosca de fijación
 Tope o perno de tija
 Muelle del perno de tija
 Conjunto muelle
 - Contacto móvil (S) (L)
 Soporte del contacto móvil. Conjunto muelle
 Engrasador
 Tope o tapón de mecha

Además del mantenimiento establecido es importante su lubricación

(L)

Además del mantenimiento establecido es importante verificar su fijación (S)

3.2.2 Costos del mantenimiento del equipo JH.

Para la evaluación de los costos de mantenimiento del equipo JH se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

- a) Costos de mantenimiento por mano de obra.
- b) Costos de mantenimiento por consumo de refacciones.

La obtención de los costos de mantenimiento por mano de obra se realiza con base en el tiempo promedio de duración del mantenimiento, el personal necesario y el nivel técnico de este personal. El tiempo promedio de realización del mantenimiento se determinó mediante un estudio de tiempos y movimientos realizado dentro de los talleres de mantenimiento menor Tasqueña y Zaragoza, y del taller de mantenimiento mayor Zaragoza.

Los costos de mantenimiento por consumo de refacciones se obtuvieron a partir de datos estadísticos.

- a) Costos de mantenimiento por mano de obra:

- Mantenimiento menor sistemático.

El tiempo requerido para el mantenimiento sistemático de cada equipo JH es de 4 horas. El personal utilizado es el técnico electromecánico con un salario mensual de \$90,000.00.

Con base en los datos anteriores tenemos:

$$CMSJH = tMS(SHE-NE)$$

$$ETTA = \frac{\text{No. de días hábiles del año}}{\text{Intervalo de tiempo entre entradas al taller del tren.}}$$

entonces:

$$CMSAJH = CMSJH \cdot ETTA$$

en donde:

- CMSJH = Costo del mantenimiento sistemático por cada JH.
 CMSAJH = Costo anual del mantenimiento sistemático por cada JH.
 tMS = Tiempo del mantenimiento sistemático.
 ETTA = Promedio de entradas al taller de cada tren por año.
 SHE = Sueldo por hora de los técnicos electricistas.
 NE = Número de técnicos electricistas.

Sustituyendo datos en las ecuaciones:

$$\text{CMSJH} = 4(375)(1) = \$ 1,500.$$

$$\text{ETTA} = \frac{260}{25} = 10.4$$

$$\text{CMSAJH} = (1,500)(10.4) = \$ 15,600.$$

el costo anual del mantenimiento sistemático por tren será de:

$$\text{CMSAT} = \text{CMSAJH} (\text{número de motrices})$$

$$\text{CMSAT} = 15,600 (6) = \$ 93,600.$$

- Mantenimiento menor cíclico.

El tiempo requerido para el mantenimiento cíclico de cada equipo JH es de 3 horas, el personal utilizado son 2 técnicos electromecánicos con un salario mensual de \$90,000.

Con base en los datos anteriores tenemos:

$$\text{CMCJH} = \text{tMC}(\text{SHE} \cdot \text{NE})$$

$$\text{CMCAJH} = \text{CMCJH} \cdot \text{IMCA}$$

en donde:

- CMCJH = Costo del mantenimiento cíclico por cada JH.
 CMCAJH = Costo anual del mantenimiento cíclico por cada JH.

tMC = Tiempo del mantenimiento cíclico.

IMCA = Promedio de intervenciones del mantenimiento cíclico a cada tren por año.

sustituyendo datos en cada una de las ecuaciones:

$$\text{CMCJH} = 3(375)(2) = \$2,250.$$

$$\text{CMCAJH} = 2,250(3) = \$6,750.$$

el costo anual del mantenimiento cíclico por tren será de:

$$\text{CMCAT} = \text{CMCAJH} (\text{Número de motrices})$$

$$\text{CMCAT} = 6,750(6) = \$40,500.$$

- Mantenimiento mayor.

El tiempo requerido para el mantenimiento mayor de cada equipo JH es de 6 días, el personal utilizado son dos técnicos electromecánicos con un salario mensual de \$90,000. En promedio se atiende un tren completo en el taller de revisión general Zaragoza por año.

$$\text{CMMJH} = \text{tMM}(\text{SDE} \cdot \text{ME})$$

$$\text{CMMAJH} = \text{CMMJH}$$

en donde:

CMMJH = Costo del mantenimiento mayor por cada JH.

CMMAJH = Costo anual del mantenimiento mayor por cada JH.

tMM = Tiempo del mantenimiento mayor.

sustituyendo valores en las ecuaciones correspondientes:

$$\text{CMNJH} = 6(3,000)(2) = \$ 36,000.$$

$$\text{CMMAJH} = \$ 36,000.$$

el costo anual del mantenimiento mayor por tren será de:

$$\text{CMMAT} = \text{CMMAJH}(\text{Número de motrices})$$

$$\text{CMMAT} = 36,000(6) = \$216,000.$$

De donde se obtiene que los costos totales por conceptos de mano de obra para el quipo JH son:

$$\begin{aligned} \text{Costo anual por JH} &= \$15,600 + \$6,750 + \$36,000 \\ &= \$ 58,350. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Costo anual por tren} &= \$93,600 + \$40,500 + \$216,000 \\ &= \$350,100 \end{aligned}$$

b) Costos de mantenimiento por consumo de refacciones:

Combinador JH	Prov.	Piezas	Precio Unit. \$	Precio Total \$
Reptor auxiliar	IMP	4,331	762.80	3'303,686.80
Cuerpo de leva	DIN	8,493	2,731.50	23'198,629.00
Cámara de extinción	IMP	1,587	6,175.50	9'800,518.50
Deflector	DIN	6,136	356.50	2'187,484.00
Siela	DIN	4,784	834.20	3'990,812.80
Estribo	DIN	3,292	1,811.00	5'961,812.00
Bobina izquierda	IMP	100	2,094.15	209,415.00
Rodillo con eje	IMP	6,620	218.50	1'446,470.00
Varilla de resorte	DIN	1,702	1,321.40	2'249,022.80
Anillo elástico de retención	IMP	44,383	4.45	197,504.35

Combinador JH	Prov.	Piezas	Precio Unit. \$	Precio Total \$
Pasador elástico	IMP	7,736	3.50	27,076.00
Asiento Aislante	IMP	1,426	190.00	270,940.00
Ramache de cobre	IMP	6,894	7.80	53,773.20
PIÑA 112 dientes				
módulo 1	IMP	200	4,508.60	901,720.00
Conjunto de rodillo	IMP	10,000	751.70	7'517,000.00
Tubo separador Ø				
6142 Lon. 12	IMP	120	100.15	12,018.00
Cierre camlok	IMP	1,000	365.60	365,600.00
Grapas mondadas con				
resistencias	IMP	308	82.80	25,502.40
Contadores				
Contacto fijo CEF				
RC-63	IMP	220	1,013.80	223,036.00
Contacto móvil CEF				
RC-63	IMP	400	902.70	361,080.00
Contacto fijo RC-200	IMP	600	2,555.40	1'533,234.00
Contacto móvil 1 NEM	IMP	1,400	798.60	1'118,040.00
Contacto CHA 10				
PC-200	IMP	100	51,823.20	5'182,320.00
Contacto CHB	IMP	100	51,823.20	5'182,320.00
Soportes móviles	IMP	148	484.70	71,735.60
Manipulador				
Cuerpo de leva	IMP	400	139.65	55,860.00

Combinador	Prov.	Piezas	Precio Unit. \$	Precio Total \$
Fusador elástico				
E.3.3 Acero	IMP	6.150	3.20	19.680.00
Anillo de ajuste IMP				
Ø 20 long. 21	IMP	200	479.65	95.930.00
Relevadoras				
R. de sustitución de				
frenos tipo OKTT				
79-48 (RSF)	IMP	60	6.517.40	391.044.00
R. de freno de emer-				
gencia tipo OKSFC-70V				
(RFU)	IMP	86	2.002.50	172.215.00
R. del contactor de				
alimentación al BME				
tipo OKSL 70V (RAS)	IMP	86	2.002.50	172.215.00
Bobina p/relé tipo				
OKSFC Mod. RC 2158 de				
330 block GL	IMP	92	1.247.50	114.770.00
Bobina p/relé tipo				
OKSFC Mod. Rel 2162 de				
515 Block GC	IMP	34	1.547.15	52.603.10
Bobina p/relé tipo				
OKSFC Mod. Rel 2157				
de 145 Block LT	IMP	44	1.212.15	53.334.60
Bobina p/relé tipo				
OKSFC Mod. Rel 2159				
de 15 000 Block FM	IMP	48	2.279.30	109.406.40

Relevadores	Prov.	Piezas	Precio Unit. \$	Precio Total \$
Bobinas p/relé tipo OKSFC Mod. Rel 2160 de 7800 Block PM	IMP	28	2,986.40	83,619.20
Bobinas p/relé tipo OXUIC Mod. Rel 2027 de 1250 Block CV	IMP	34	1,805.20	61,376.80
R. de pupitre Block CG	IMP	30	129,698.60	3'890,958.00
R. de mando local de frenado Block LH	IMP	24	30,691.60	736,598.40
R. de mando local de frenado Block LF	IMP	90	31,647.65	2'848,288.50
R. de preparación del material Block PM	IMP	48	289,446.60	13'893,436.00
R. de mando local de tracción Block LF	IMP	48	123,442.50	5,925,240.00

Por lo que el costo anual total por consumo de refacciones para el material MP-68 es de:

\$ 104'067,220.55 M/N

El costo anual por tren, tomando como dato que el número de trenes MP-68 es de 58, es de:

\$ 1'794,262.40

Por lo tanto el costo anual de mantenimiento del equipo JH es igual a:

$$\text{CAM} = \text{Costo de mantenimiento por mano de obra} + \text{Costo de mantenimiento por consumo de refacciones}$$

$$\text{CAM} = \$350,000.00 + \$1'794,262.40$$

$$\text{CAM} = \$2'144,262.40 \text{ M/N.}$$

3.3 Balance de Energía.

El análisis de energía del tren contemplado como un cuerpo en movimiento, establece la siguiente distribución de energía:

Campo conservativo	Campo no conservativo
-Energía cinética	-Pérdidas por fricción
-Energía potencial	-Energía del acondicionador

Campo Conservativo:

- Energía cinética. Representada como $E_c = \frac{m'v^2}{2}$, donde m' expresa la masa del vehículo más el efecto de la inercia rotacional de las masas giratorias.

- Energía potencial. Expresada como $E_p = m \cdot \Delta h$, donde m es solo la masa del vehículo y Δh el cambio de altura respecto a la dirección del campo.

Campo no conservativo:

- Pérdidas por fricción. Son producidas principalmente por dos fuerzas: por un lado, la fricción entre las partes móviles del equipo de tracción y de las llantas con los rieles, la cual es proporcional a la masa del tren, y por otro lado una fuerza debida a la resistencia del aire al

avance, la cual es función de la velocidad y es aproximadamente proporcional al cuadrado de la velocidad. Así, estas pérdidas pueden expresarse como una fuerza:

$$F_f = a + bv^2 \quad \text{o como una potencia:}$$

$$P_f = av + bv^3$$

Existen también pérdidas causadas por histéresis mecánicas y por oscilación tanto vertical como lateral del tren, estas son pequeñas y difíciles de calcular por lo que generalmente son despreciadas. Ocurren también pérdidas suplementarias debidas a las curvas en el trayecto, las que son proporcionales al inverso del radio de curvatura.

- **Energía del Acondicionador.** El acondicionador de energía con base en resistores, como se vió en el capítulo anterior, es muy ineficiente. Durante el arranque, hasta que la fuerza contraelectromotriz de los motores permite la aplicación de la tensión de línea sin exceder la corriente de operación del motor, parte de la energía se disipa como calor en los resistores; la conmutación serie serie-paralelo limita esta pérdida como máximo hasta un valor igual a la mitad de la energía suministrada a los motores. Existen también pérdidas en las derivaciones de campo. Experimentalmente se tiene para el arranque una eficiencia del equipo con control reostático del 30%.

Después del arranque, con todos los resistores desconectados y con el campo reducido, siguiendo la característica natural del motor de CD, se considera para el análisis solo la eficiencia del motor del orden del 95% y la de la transmisión mecánica, considerada como del 92%.

De la energía cinética alcanzada al final de la tracción, una parte se utiliza para vencer la resistencia del aire al avance y la mayor parte se disipa como calor durante el frenado, en las llantas, en las zapatas y principalmente en los resistores durante el frenado eléctrico. Como se ve, en el material MP-68 si no estar provisto de frenado regenerativo, toda la energía necesaria para acelerar al tren se pierde.

- Flujo de energía para un control reostático.

La figura siguiente muestra el resultado de una simulación por computadora para un caso específico de operación de tránsito en el Canadá, y se presenta para dar una idea del flujo de energía para un sistema con control reostático.

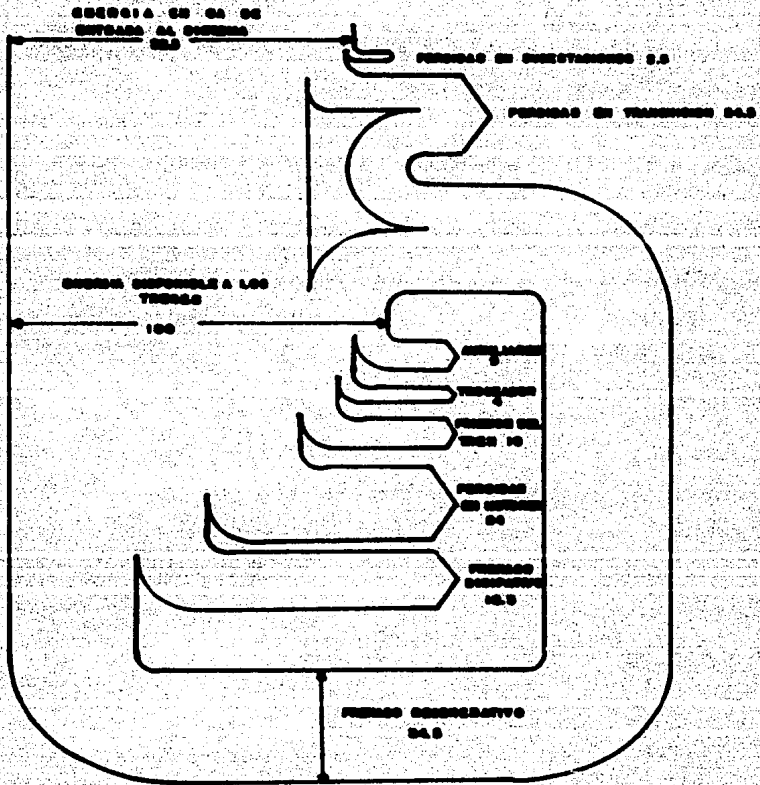


FIGURA 2.1

3.3.1 Análisis del consumo de energía.

Para el análisis del consumo de energía se utilizaron métodos numéricos con base en los datos de mediciones hechas al vehículo y proporcionadas como una serie de tres curvas: la primera es la curva de comportamiento del tren en tracción, que expresa el esfuerzo por motor, la segunda es la curva de resistencia del tren, que representa la desaceleración provocada por las fuerzas resistentes, y en la última, la curva de comportamiento de frenado eléctrico, se tiene el esfuerzo de la máquina como generador durante el frenado. Las tres curvas se encuentran expresadas en función de la velocidad.

Las mediciones para estas curvas se efectuaron en un material equipado con troceador, por lo que la curva de comportamiento en tracción es un poco diferente a la del JH, sin embargo, debido al carácter estimativo del análisis y a que la diferencia es poco significativa y a que, por otro lado, la curva de resistencia del tren no varía con el tipo de acondicionador de energía y la curva de frenado eléctrico solo se usa para el análisis del troceador, estas curvas se utilizarán para el análisis de consumo de energía tanto del troceador como del combinador de resistores. Ver figuras 3.2, 3.3 y 3.4.

A partir de dichas curvas, mediante la aplicación de métodos numéricos y con los datos de velocidades crucero, v_c , (velocidad que se alcanza al final de la tracción) y de la longitud del recorrido, L , se obtienen matrices vectores de las variables de velocidad, fuerza, potencia y trabajo; y las correspondientes curvas para las operaciones de tracción, marcha y frenado, en función del desplazamiento. Esto último para facilidad del análisis y porque generalmente en la literatura sobre el tema, el consumo

ESTADO DE COMPORTAMIENTO EN TRACCION

VOLTAJE DE LINEA 750 V
 RELACION DE ENRIQUE 0.55
 DIAMETRO DE LA BARRA FERRUGOSA 25.4 mm

ESFUERZO DE TRACCION
 (kg/cm²)

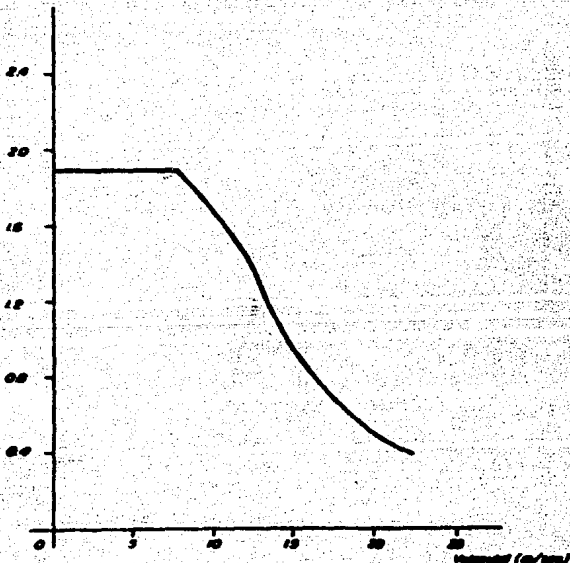


FIGURA 28

CURVA DE RESISTENCIA DEL TRONC

Resistencia
del tronco
 $RL/Ag \times 10^{-3}$

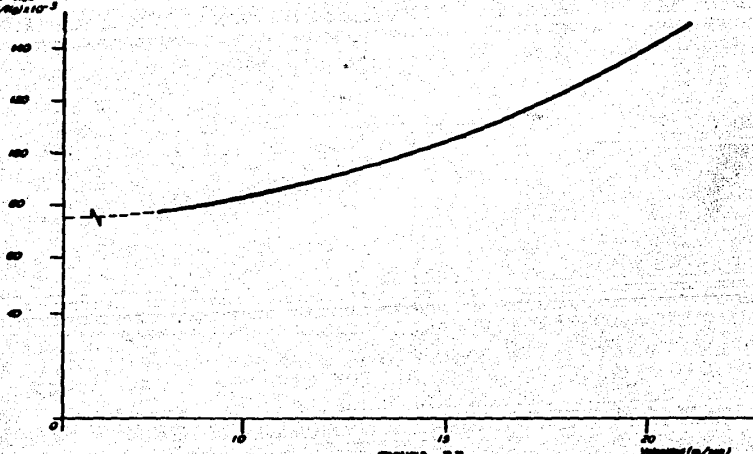


FIGURA 3.3

**CURVA DE COMPORTAMIENTO DE FRENADO
ELECTRICO**

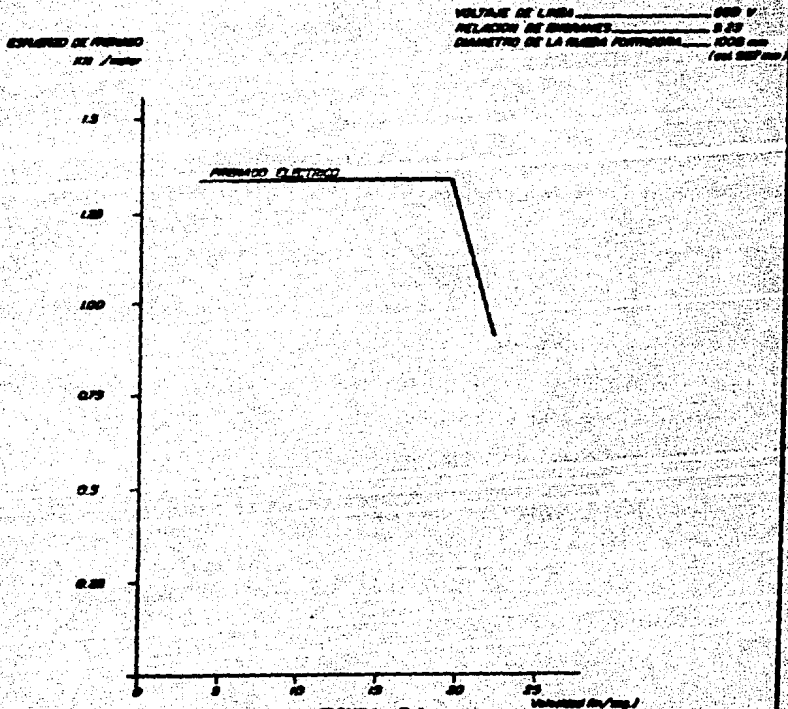


FIGURA 3.4

de energía se maneja en términos de energía consumida por vehículo y kilómetro recorrido.

Una vez obtenido el vector de trabajo, los resultados se afectan por las características del acondicionador de energía para obtener el consumo de energía eléctrica.

El análisis del consumo de energía del JH, al no poseer este frenado regenerativo, se reduce a la etapa de tracción; por lo que solo se necesitan las curvas de tracción y resistencia al avance.

- Consideraciones para el análisis del consumo de energía.

Los datos y consideraciones que se asumen a continuación, son válidos para los dos tipos de acondicionador de energía.

1. No se consideran cambios de energía potencial ni pérdidas suplementarias por curvas en el trayecto.
2. Existen dos tipos de formaciones posibles de un tren:

con 9 carros:

M	R	N	N	PR	N	N	R	M
---	---	---	---	----	---	---	---	---

con 6 carros:

M	R	N	N	PR	M
---	---	---	---	----	---

donde:

- M carro motriz-cabina
- N carro motriz
- R carro remolque
- PR carro remolque-piloto automático.

Para el análisis se toma la más común, que es la de 9 carros.

3. Para la curva de tracción y de frenado eléctrico se necesita saber el número de motores por tren. Se sabe que el número de motores por

carro motriz es de 4, por lo tanto el número de motores del tren es de 24.

4. Para el cálculo de la masa del tren se considera a éste a $3/4$ de su capacidad nominal, ya que ésta es la capacidad que se utiliza para las mediciones de pruebas, y por lo tanto la de las curvas de datos.

Se sabe que la masa de los carros a $3/4$ de capacidad es:

M 36,225 [kg]

N 35,324 [kg]

R, PR 28,754 [kg]

Por lo que la masa del tren (M) es:

$$2 \times 36,225 + 4 \times 35,324 + 3 \times 28,754 = 300,008 \text{ [kg]}$$

5. El efecto de la inercia rotacional para este tipo de tren se considera como del 10% de la masa del tren, por lo tanto:

Masa del tren más el efecto de la inercia rotacional (m') =

$$= 300,008 \times 1.1 = 330,008.8 \text{ [kg]}$$

6. El grupo motor-alternador provee la energía para los siguientes equipos auxiliares, con la distribución de potencia mostrada:

alumbrado	3.6 [kw]
carga de batería	5 [kw]
excitación de las máquinas en frenado	5.6 [kw]
alimentación servomotor	4.5 [kw]
ventilación reóstatos	1 [kw]

en total 19.7[kw]. Por otro lado la potencia del motor del compresor es de 9[kw], y tenemos para un tren de 9 carros, 3 grupos motor-alternador y 3 compresores por 24 motores de tracción. Como se puede -

ver, la energía que puedan consumir los equipos auxiliares y los sistemas neumáticos es relativamente pequeña comparada con la del motor de tracción, cuya potencia nominal es de 2,736 [kw] para campo reducido. Por lo anterior y porque el consumo de energía por dichos conceptos es prácticamente igual para el JH y el troceador, no se considera este consumo en el análisis.

7. También se encuentran pérdidas eléctricas en el tercer riel, sin embargo estas solo se consideran para el análisis del frenado regenerativo, estando involucradas en el concepto de receptividad de la línea.
8. Se considera una velocidad cruceo promedio de 19.44 [m/s] (70 km/hr).
9. Se toma un recorrido medio de un kilómetro.

ALGORITMOS, LISTADOS Y CURVAS.

Los algoritmos se encuentran en el anexo B.

Los listados y curvas se dan a continuación.

TRACCION

V_c [m/s]	F_T [kN]	F_f [kN]	A [m/s ²]	E_c [m]	P_c [MW]	T_c [MJ]
.0	452.04	24.05	1.297	0.00	0.000	0.000
.3	452.04	24.05	1.297	0.03	0.136	0.016
.6	452.04	24.05	1.297	0.13	0.271	0.063
.8	452.04	24.05	1.297	0.24	0.362	0.112
1.1	452.04	24.05	1.297	0.46	0.497	0.211
1.4	452.04	24.05	1.297	0.75	0.633	0.342
1.7	452.04	24.05	1.297	1.11	0.768	0.504
1.9	452.04	24.05	1.297	1.39	0.859	0.629
2.2	452.04	24.05	1.297	1.86	0.994	0.843
2.5	452.04	24.05	1.297	2.40	1.130	1.088
2.8	452.04	24.05	1.297	3.01	1.266	1.365
3.1	452.04	24.05	1.297	3.69	1.401	1.673
3.3	452.04	24.05	1.297	4.18	1.492	1.896
3.6	452.04	24.05	1.297	4.98	1.627	2.256
3.9	452.04	24.05	1.297	5.85	1.763	2.648
4.2	452.04	24.15	1.297	6.79	1.898	3.071
4.4	452.04	24.28	1.296	7.45	1.989	3.370
4.7	452.04	24.28	1.296	8.50	2.125	3.845
5.0	452.04	24.28	1.296	9.62	2.260	4.352
5.3	452.04	24.38	1.296	10.81	2.396	4.800
5.6	452.04	24.51	1.296	12.07	2.531	5.459
5.8	452.04	24.60	1.295	12.95	2.622	5.856
6.1	452.04	24.70	1.295	14.33	2.757	6.48
6.4	452.04	24.93	1.295	15.78	2.895	7.135
6.7	452.04	24.93	1.294	17.30	3.029	7.822
6.9	452.04	25.02	1.294	18.35	3.119	8.298
7.2	452.04	25.25	1.293	19.99	3.255	9.037
7.5	452.04	25.38	1.293	21.70	3.340	9.808
7.8	452.04	25.58	1.292	23.47	3.526	10.610
8.1	444.98	25.80	1.270	25.33	3.604	11.444
8.3	437.92	25.90	1.249	26.63	3.635	12.020
8.6	433.21	26.07	1.232	28.67	3.726	12.911
8.9	426.15	26.32	1.212	30.81	3.793	13.882
9.2	419.08	26.51	1.190	33.07	3.856	14.788
9.4	412.02	26.71	1.168	34.65	3.873	15.445
9.7	404.96	27.13	1.145	37.12	3.928	16.455
10.0	397.89	27.32	1.123	39.73	3.974	17.503
10.3	390.83	27.52	1.101	42.47	4.026	18.584
10.6	383.77	27.94	1.078	45.34	4.068	19.697
10.8	376.70	28.33	1.056	47.34	4.068	20.458

TRACCION

V_t [m/s]	F_t [kN]	F_f [kN]	A [m/s ²]	E_t [m]	P_t [MW]	T_t [MJ]
11.1	367.24	28.52	1.027	50.49	4.077	21.631
11.4	360.22	28.75	1.004	53.81	4.107	22.838
11.7	353.16	29.14	0.982	57.30	4.132	24.082
11.9	343.74	29.56	0.952	59.74	4.091	24.933
12.2	336.68	29.95	0.929	63.58	4.107	26.241
12.5	329.62	30.37	0.907	67.62	4.120	27.586
12.8	310.78	30.76	0.849	71.95	3.978	28.971
13.0	299.01	31.18	0.812	75.06	3.887	29.919
13.3	287.24	31.37	0.775	80.03	3.820	31.376
13.6	273.11	31.99	0.731	85.38	3.714	32.875
13.9	266.05	32.37	0.708	91.11	3.698	32.875
14.2	254.29	32.79	0.671	97.22	3.611	36.010
14.4	244.86	33.38	0.641	101.58	3.526	37.079
14.7	233.09	33.96	0.603	108.17	3.426	38.674
15.0	226.02	34.41	0.581	115.70	3.390	40.402
15.3	216.60	34.80	0.551	123.73	3.314	42.179
15.6	209.54	35.42	0.528	132.32	3.269	44.009
15.8	202.43	36.03	0.504	133.40	3.199	45.254
16.1	193.06	36.42	0.475	148.71	3.108	47.194
16.4	188.35	37.23	0.458	158.60	3.089	49.184
16.7	181.29	37.65	0.455	168.71	3.028	51.231
16.9	174.23	38.46	0.411	177.66	2.994	52.649
17.2	169.52	38.85	0.396	190.33	2.916	54.826
17.5	162.45	39.66	0.372	203.88	2.843	57.075
17.8	157.74	40.27	0.356	218.42	2.808	59.404
18.1	150.68	40.89	0.333	234.04	2.727	61.812
18.3	145.97	41.47	0.317	245.23	2.671	63.472
18.6	141.26	42.09	0.301	263.14	2.627	66.545
18.9	136.56	42.90	0.284	282.34	2.581	68.710
19.2	131.85	43.70	0.267	303.05	2.532	71.487
19.4	127.14	44.51	0.250	317.95	2.462	73.419
19.7	122.43					
20.0	120.07					
20.3	115.37					
20.6	113.01					
20.8	108.30					
21.1	105.95					
21.4	103.59					
21.7	98.83					
21.9	96.53					
22.2	94.18					

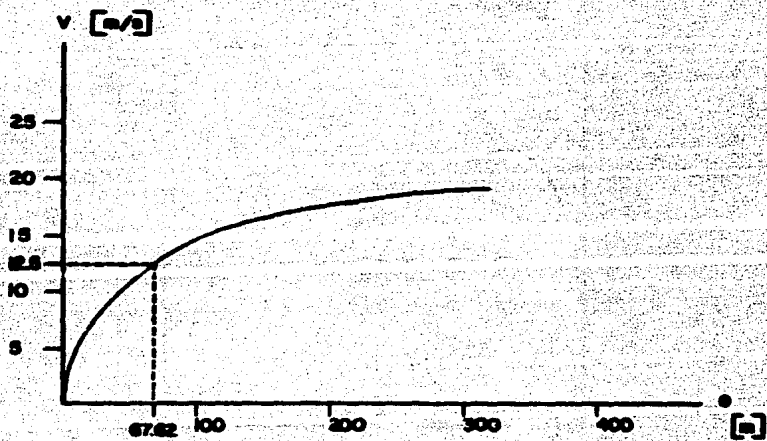


FIGURA 3.5

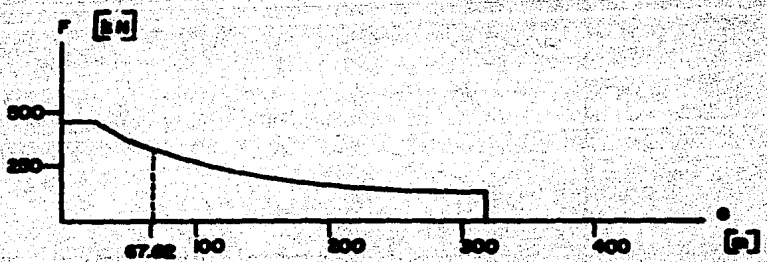


FIGURA 3.6

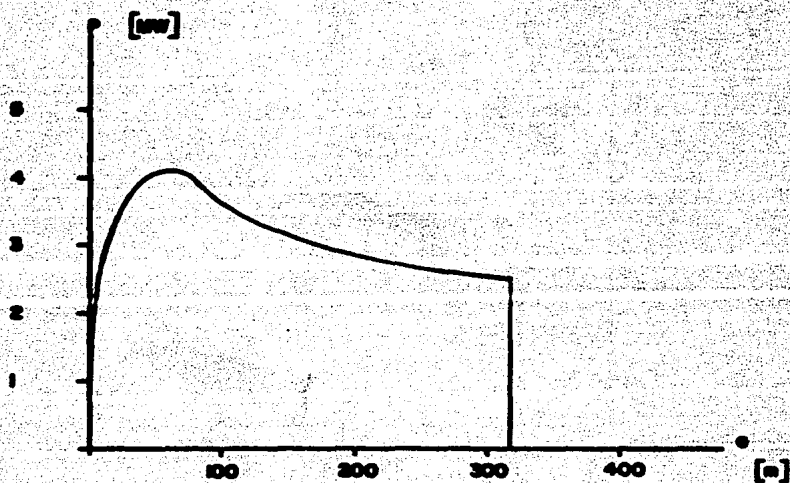


FIGURA 3.7

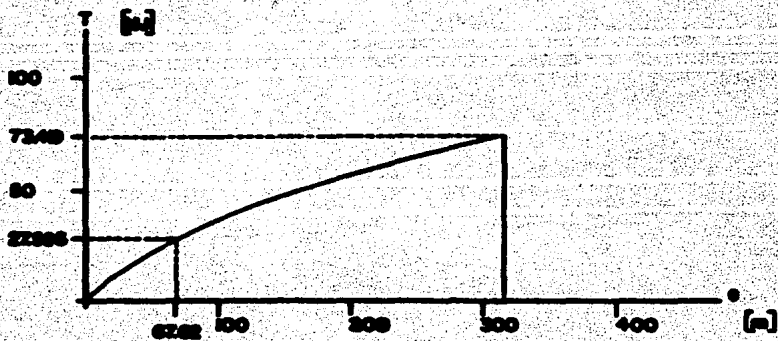


FIGURA 3.8

Se sabe que la característica de fuerza contra velocidad para los cuatro motores de una motriz es:

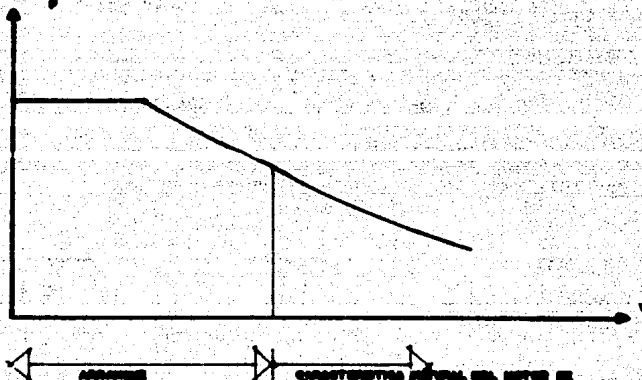


Figura 3.9 se con campo normal

En la curva de comportamiento del tren en tracción encontramos, entonces, que el límite de la etapa de arranque se halla a 12.5 [m/s] esto es 45 (km/hr) a partir de este dato encontramos la energía mecánica consumida durante el arranque que es igual a 27.59 [MJ]. Tomando en cuenta la eficiencia del acondicionador de energía para esta etapa, el consumo eléctrico es:

$$27.59 \text{ [MJ]} \div 0.3 = 91.95 \text{ [MJ]}$$

Durante el resto de la tracción, la energía consumida hasta alcanzar la velocidad crucero se obtiene de esta manera:

$$73.42 \text{ [MJ]} - 27.59 \text{ [MJ]} = 45.83 \text{ [MJ]}$$

que afectada por la eficiencia del motor de CD y de la transmisión mecánica, da por resultado la energía eléctrica correspondiente:

$$45.83 \text{ [MJ]} \div (0.95 \times 0.92) = 52.44 \text{ [MJ]}$$

Por lo tanto, la energía eléctrica consumida total por tren y por kilómetro recorrido sería:

$$91.95 \text{ [MJ]} + 52.44 \text{ [MJ]} = 144.39 \text{ [MJ/tren-km]}$$

3.3.2 Análisis del costo del consumo de energía.

Para este análisis se toman en cuenta los siguientes datos y consideraciones, válidos para los dos tipos de equipos de control:

1. El número de kilómetros promedio que un tren recorre en un año es aproximadamente de 111,246 (km).
2. Se tiene que el costo de la energía eléctrica es de 10.45 (\$/kw-hr) subsidiada y 18.45 (\$/kw-hr) no subsidiada. Como el STC es una empresa del estado, se consideró como más apropiado y veraz utilizar el costo no subsidiado para los cálculos, que en otros términos puede expresarse como 5.125 (\$/MJ).

El consumo anual por tren es igual a:

$$144.39 \text{ (MJ/tren-km)} \times 111,246 \text{ (km/año)} = 16'063,143.68$$

(MJ/tren-año)

Finalmente el costo anual por consumo de energía, de un tren equipado con JH, es de aproximadamente:

$$16'063,143.68 \text{ (MJ/tren-año)} \times 5.125 \text{ (\$/MJ)} = 82.32 \text{ millones de pesos.}$$

3.4 Costos de Operación.

Finalmente:

El costo total anual por operación del material JH es igual a:

COPJH = Costo anual de	+	Costo anual por consumo
mantenimiento		de energía

OPJH = \$2'144,262.40 + 82'320,000.00

OPJH = 84'464,262.40 M/N.

CAPITULO 4.

EL TROCEADOR

Después de que en el tercer capítulo se analizó el funcionamiento del equipo acondicionador de energía de tipo contactores y accionamiento por levas, esto es el JH, en este capítulo se estudiará la otra tecnología que ha adquirido el STC, o sea el troceador.

Al principio se hará un breve estudio sobre el troceador, su elemento de conmutación (el tiristor), sus configuraciones y sus características. Después se hará un análisis comparativo entre el equipo troceador francés y el equipo troceador japonés, con el fin de marcar las diferencias y definir algunas de las características.

Enseguida se enlistan las diferentes tecnologías en cuanto a acondicionador de energía que ha adquirido el STC con sus respectivos nombres clave.

- MP - 68 JH de frenado reostático, francés
- MM - 73A JH de frenado reostático, constr. en Méx.
- MM - 73B JH de frenado regenerativo, constr. en Méx.
- MM - 73C Troceador trifásico KESSAR, francés
- MM - 79 Troceador bifásico, japonés
- MC - 82 Troceador bifásico, japonés
- MP - 82 Troceador trifásico francés
- MM - 83A Troceador bifásico, japonés, enfriado a freón
- MM - 83B Troceador bifásico, japonés, enfriado a freón

4.1 Principios del troceador.

El troceador es un equipo con base en semiconductores de potencia, cuya función pudiera compararse con un transformador de relación variable para corriente directa.

La manera en que se varía la tensión con el troceador en un esquema de frecuencia constante es alterando el tiempo en que el interruptor permanece cerrado de manera que la relación cíclica de conducción será:

$$\alpha = \frac{t_{\text{cerrado}}}{T} = \frac{t_{\text{cerrado}}}{t_{\text{cerrado}} + t_{\text{abierto}}}$$

Los esquemas de frecuencia variable no se aplican mucho en tracción eléctrica por producir interferencias con los sistemas de control y comunicaciones.

4.1.1 Principio

El principio del trocador se apoya en la característica de la carga para acumular energía (en caso de que la carga no acumule energía se añaden elementos en este sentido). Si la tensión aplicada a la carga se conmuta a una velocidad mayor de la que es capaz de reaccionar (frecuencia de conmutación mucho mayor que el inverso de la constante de tiempo de la carga) la corriente que pase por la carga será no solo directa sino continua (el rizado será pequeño). Se hace evidente de lo anterior que el trocador dependerá del tipo de carga. Para el caso que ocupa este estudio la carga es predominantemente inductiva de ahí los siguientes montajes:

a) Montaje serie

El elemento de conmutación H está en serie colocado entre la fuente y la carga.

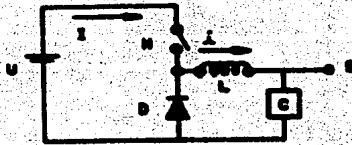


Figura 4.1

La inductancia L marca la característica de la carga y el diodo D garantiza la continuidad de la corriente en la carga.

Si se opera a un periodo T y el conmutador H permanece cerrado a7 las relaciones de tensión y corriente para fuente-carga son:

$$E = \alpha U$$

$$i = \frac{I}{\alpha}$$

Aquí la tensión de la carga es menor o igual a la de la fuente y la corriente es mayor en la carga que la que proporciona la fuente.

b) Montaje Paralelo

En este montaje el interruptor está colocado en paralelo con la carga.



Figura 4.2

El diodo D sólo permite que el flujo de energía sea de la carga a la fuente.

Las relaciones de corriente y tensión son las siguientes:

$$U = \frac{E}{1-\alpha}$$

$$i = (1-\alpha)i$$

El montaje serie se aplica, en la tracción eléctrica al primer cuadrante del plano de potencia mientras que el montaje paralelo es para el cuarto cuadrante.

4.1.2 Operación.

Tracción.

En la figura 4.3a cuando el conmutador T_p conduce circula la corriente de la fuente a la carga. En cuanto el interruptor deja de conducir la corriente se desvía pasando por el diodo. Las características de los elementos involucrados y los periodos en que se opera hacen que las respuestas en corriente a las entradas escalón de voltaje correspondan a funciones de primer orden como en las gráficas mostradas en la figura 4.3.b.

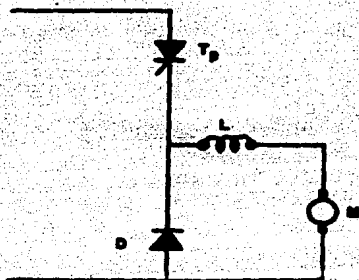


FIGURA 4.30

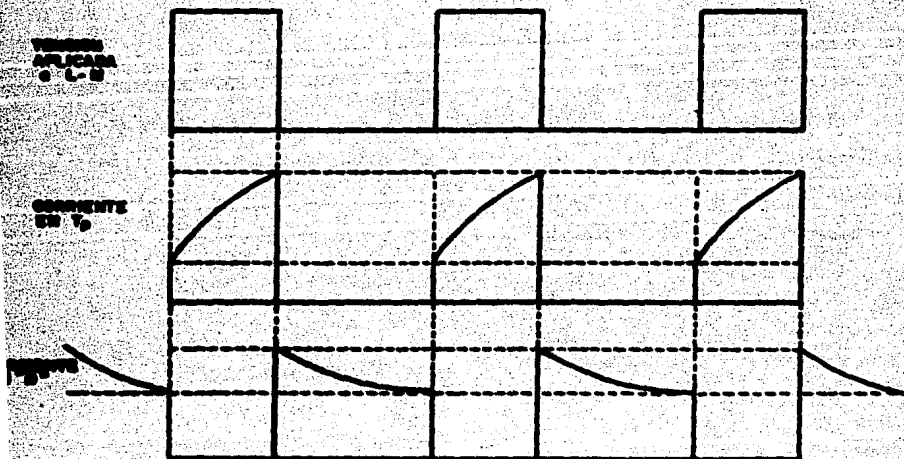


FIGURA 4.30

Frenado.

Una característica importante en los troceadores es su facilidad para pasar del estado de tracción al de frenado. En la figura 4.4 se muestra la configuración del circuito de potencia para el frenado regenerativo. Durante el periodo de conducción del troceador, la máquina se comportará como generador eléctrico corto-circuitado de manera que la corriente crecerá rápidamente acumulando energía en el inductor. Al apagarse el troceador esta energía se transforma en tensión suficiente para circular por el diodo hacia la fuente o a otra carga cuando la energía acumulada no es suficiente como para vencer la tensión de la fuente.

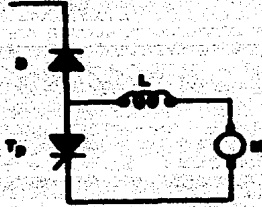


Figura 4.4

4.1.3 Tiristores.

En la electrónica existen distintos elementos que permiten la conmutación de circuitos, en general tiristores y transistores. Por la capacidad para manejar corriente y bloquear altas tensiones, para tracción eléctrica se aplican en mayor grado los tiristores.

Los tiristores son dispositivos semiconductores contruidos con cuatro capas alternadas de material semiconductor, esto es pnpn. A diferencia de los transistores, éstos solo pueden permanecer en dos estados, conductor o bloqueado. La transición del estado bloqueado al conductor se da por una señal eléctrica en la terminal conocida como compuerta (existen además otros motivos para la transición de estado pero no son relevantes - aquí), en el caso de los tiristores comunes el apagado o transición de estado conductor a estado bloqueado es posible solamente cuando la corriente que circula por el dispositivo sea menor o igual a cero por un tiempo mayor al tiempo de apagado conocido como t_q esto es, si se aplica tensión de directa a un tiristor antes de que la corriente de anodo deje de fluir el tiristor regresará al estado conductor.

Además del tiempo de apagado existen una gran variedad de características por las que un tiristor puede ser especificado, se mencionarán ahora otras dos de importancia en el diseño de un troceador: en muchos casos se puede suponer que un tiristor se enciende instantáneamente. Esto es válido si la velocidad con que crece la corriente de ánodo es pequeña comparada con el tiempo necesario para que las juntas del semiconductor alcancen el estado de completo encendido y conducción en densidad uniforme de corriente. En caso de que esto no ocurra así se podrán generar puntos calientes debi

do al encendido prematuro local y por las altas densidades de corriente esto puede llegar a pasar la temperatura de operación de la junta del semiconductor degradándolo o destruyéndolo (perforándolo). Por último la aplicación del voltaje de directa debe de estar restringido a una cierta velocidad de crecimiento. Superada esta restricción el tiristor pasará al estado conductor por una aplicación intempestiva de tensión, lo cual es indeseable. Para mantener la confiabilidad del circuito este deberá estar protegido contra estos excesos (snubbers). Existe un tipo especial de tiristores que son: los tiristores de conducción inversa. En muchas aplicaciones se había encontrado que se usaban tiristores en antiparalelo con diodos, lo cual tenía problemas de un gran número de semiconductores y alteraciones en el tiempo de apagado del tiristor debido a la inductancia que se generaba por la conexión entre los componentes mencionados. Esto se solucionó con la integración en un solo paquete de ambos elementos, conociendo se como tiristor de conducción inversa.

4.2 Realización.

4.2.1 Conmutación.

Los semiconductores con los que se operan los troceadores de potencia elevadas son tiristores de tipo rápido, lo que significa que tendrán un tiempo de apagado pequeño, siendo este uno de los factores de más importancia en el diseño de un troceador. El troceador desde el punto de vista de la transición del estado de conducción al de bloqueo se clasifica dentro de los sistemas de conmutación forzada, ya que es necesario forzar a la corriente que pasa por el elemento de conmutación principal por cero para

que se apague. Existen dos técnicas de conmutación forzada a las cuales se referirá adelante.

Las técnicas de conmutación son la suave y la dura, refiriéndose al tamaño de la tensión inversa aplicada al tiristor para apagarlo, en el caso duro se aplica una tensión parecida a la de la fuente y en el caso de la suave se aplica apenas una tensión pequeña. Asociada al apagado del tiristor principal está una cantidad de energía necesaria para aplicar la tensión inversa, para evacuar la carga eléctrica retenida en el semiconductor y mantener el estado el tiempo suficiente para recobrar sus características de bloqueo. Esta energía asociada será almacenada en un capacitor mientras el tiristor principal conduce y luego aplicada por medio de otros semiconductores que se conmutarán agotando la energía almacenada.

Véase como se realiza esto, tomando como ejemplo el siguiente circuito:

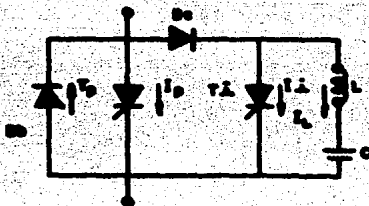


Figura 4.5

El tiristor T_p es el elemento principal. el tiristor T_i es el que invierte la carga del capacitor C como se verá mas adelante, y los diodos D_b y D_c con el inductor L son auxiliares en la inversión y el apagado. Si se piensa que inicialmente se aplica la tensión en los bornes del sistema se tendrá que el capacitor se carga por medio de I_c que pasa a través de D_c hasta que adquiere una polaridad equivalente a la de la fuente. Si ahora se permite que T_p conduzca dará la corriente I_p a la carga. Para proceder al apagado de T_p se enciende el tiristor T_i que forma un circuito resonante con el inductor y el capacitor, conduciéndose así la corriente I_i hasta invertir la carga. En ese momento la corriente I_i ($-I_c$) se anula y por lo tanto se apaga el tiristor T_i aplicandose la tensión invertida al inductor a través de D_b y D_c y a su vez una tensión inversa a T_p equivalente a la caída en directa en D_b . Cuando el tiristor se apaga el resto de la energía fluye por D_b y D_c hasta pasar por cero y ser cargado nuevamente desde la fuente.

Por la tensión aplicada al tiristor principal para apagarlo, el circuito anterior aplica la técnica de la conmutación suave. Ahora vease un ejemplo del método de la conmutación dura tomándose el siguiente circuito:

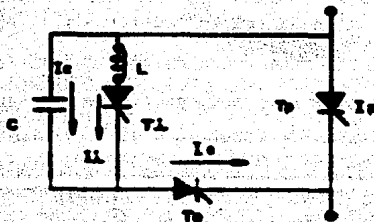


Figura 4.6

Nuevamente T_p es el elemento de conducción principal, T_l invierte la carga del capacitor C con ayuda del inductor L asociado, y T_e es el tiristor que "extingue" o apaga al tiristor principal. Si se piensa ahora que el capacitor C tiene una carga con tensión igual a la de la fuente y en el mismo sentido (que adquirió encendiendo el tiristor T_e por ejemplo) podemos encender en el mismo instante T_p y T_l conduciendo T_p la corriente hacia la carga y T_l invirtiendo la carga en C . En el momento en que la corriente del circuito resonante LC pasa por cero, T_l se apaga y queda listo para el apagado de T_p . En el momento que se desea se enciende T_e quedando así aplicada la tensión inversa de C directamente a T_p conmutándolo al estado de alta impedancia. La conducción continua por C y T_e hasta que C toma una carga con tensión igual a la de la fuente, se suspende la corriente I_e y el tiristor se apaga quedando así el circuito en el estado inicial planteado.

Estas técnicas de conmutación tienen las siguientes características:

En teoría, para un tiempo de apagado t_q dado, los componentes pasivos del circuito de conmutación L y C son más pequeños para el método de conmutación suave.

En la práctica de acuerdo a las características de los tiristores rápidos, t_q depende del tamaño de la polarización inversa aplicada, al disminuir esta aumenta el t_q por lo que las ventajas de la conmutación suave desaparecen. Además, en el caso suave la reaplicación de tensión es muy brusca en el tiristor principal, (dv/dt) elevado, haciendo necesario redes de compensación más grandes.

4.2.2 Segunda inversión.

Un problema tradicional en el diseño de trocadores para máquinas de CD en tracción ha sido satisfacer las características de la corriente de arranque. Una solución es mantener el ancho del pulso al mínimo. (la relación de conducción al mínimo real) y espaciar más los pulsos en el tiempo, esto es, disminuir la frecuencia de troceo. Esto puede tener como consecuencia mayores alteraciones en la línea de alimentación pero se solucionan mejorando el filtro de entrada.

Otra solución que se presenta en el método de conmutación dura es la del tiristor de segunda inversión, cuya aplicación lleva a dos métodos de conducción:

1) Primer modo de conducción.

Aquí la energía se transfiere de la fuente a la máquina solamente a través del capacitor de extinción, esto es, no se enciende el tiristor principal. La cantidad de energía que se transfiere está modulada por el encendido del tiristor de segunda inversión.

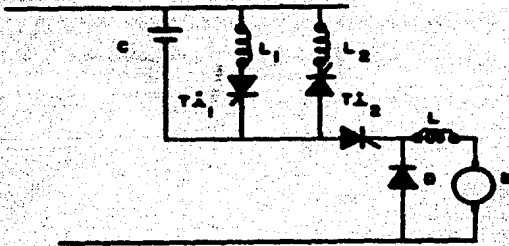


Figura 4.7 Circuito de primer modo de conducción

Supongase que el capacitor C tiene una carga de la misma tensión y polaridad que la fuente y que M y L funcionan en rueda libre a través de D. La carga de C se invierte con el encendido de T_1 y el circuito tanque formado por C y L_1 . El encendido del tiristor de segunda inversión se da un instante después de completar la inversión de la carga. El tiristor de extinción T_2 se puede encender en cualquier momento desde que se completa la inversión de la carga de manera que variando este encendido con respecto al de T_1 se modula la cantidad de corriente.

2) Segundo modo de conducción.

Esta vez la corriente principal se pasa por el tiristor T_p . La operación es como en el trocador ya explicado, y el tiristor de segunda inversión se utiliza solo para eliminar el exceso de energía en C.

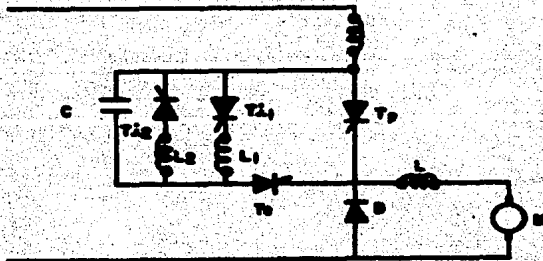


Figura 4.8 Circuito de segundo modo de conducción

Ahora el ciclo de trabajo se modula con el tiempo entre el disparo de T_p y el de T_1 de manera que el encendido de los tiristores T_e y T_2 permanecen en secuencia fija con respecto al encendido de T_1 .

4.3 Filtro y fases.

Al ser el trocador un equipo de conmutación y por tanto discontinuo (alimenta un tren de pulsos) produce una gran cantidad de armónicos en frecuencias múltiples de la de operación. Esto perjudica hacia adelante a la má-

quina en pérdidas de "hierro", esto se soluciona con el inductor de alisamiento: y hacia atrás en la línea de alimentación causando principalmente problemas de interferencia en comunicaciones y señalización, esto se soluciona con un filtro pasa-bajas de segundo orden a la cabeza del circuito.

Prácticamente la puesta de este filtro causa problemas de volumen, ya que la frecuencia de corte debe ser muy baja.

La solución tradicional cuando los tiristores no eran lo suficientemente rápidos era poner trocaadores en paralelo trabajando desfasados: esto producía una aparente frecuencia mayor de operación, vista desde la línea. Esto hizo que los trocaadores tuvieran una denominación de acuerdo al número de fases (bifásico, trifásico, etc.).

4.4 Punteo de campo.

El punteo de campo es útil para mejorar el rango práctico de velocidades de la máquina, para esto se emplean métodos resistivos y métodos con semiconductores.

El método resistivo se basa en la puesta de resistores en paralelo al campo, variando así, en forma constante la corriente que pasa por él; los resistores se aplican con ayuda de contactores.

Con semiconductores de potencia se trata de una variación continua de campo ya sea con transistores o con tiristores.

Existe un método que necesita de la partición del campo. Poniendo un diodo de rueda libre en una de las partes del campo se tendrá una variación automática con una frecuencia de troceo.

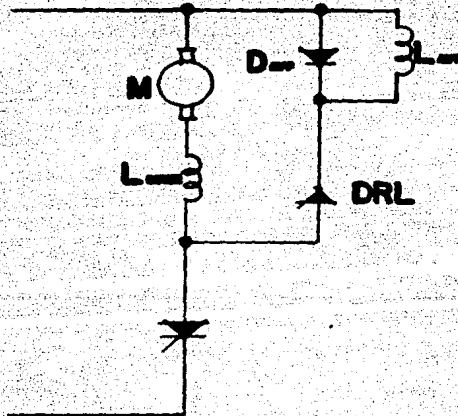


Figura 4.9 Diagrama de AVF

En inglés este sistema se denomina AVF (Automatic Variable Field).

Existe un puenteo de campo auxiliar que es permanente y que contribuye a la estabilidad del circuito y es de alrededor de 10 ó 15 por ciento de la relación de puenteo.

4.5 Tracción-Frenado.

Una condición importante para que el frenado regenerativo sea eficiente es que el circuito pueda pasar de una configuración de troceo en serie a una de troceo en paralelo rápidamente.

El troceador francés utiliza tiristores para el cambio de topología T/F y los sistemas de troceo japoneses utilizan contactores electro neumáticos.

La utilización de semiconductores hace que el cambio de topología sea más confiable y rápido.

Algunas de las configuraciones usadas son las siguientes:

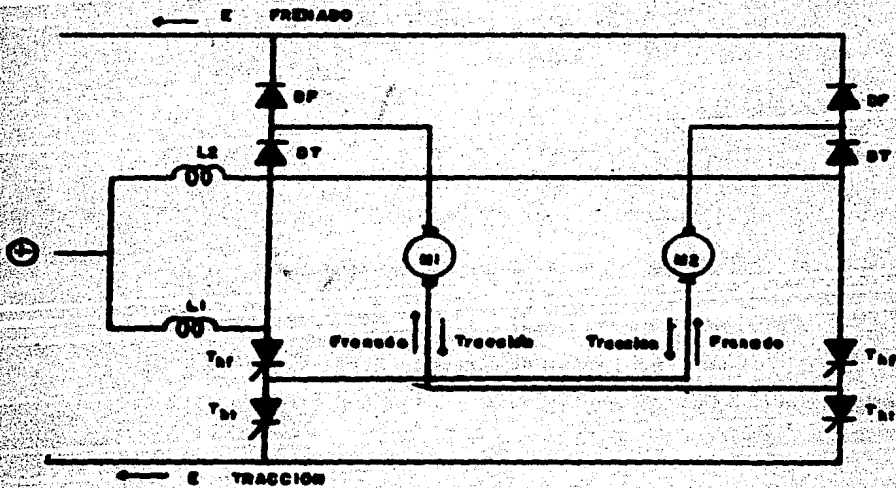


Figura 4.10 Configuración I/F del troceador francés

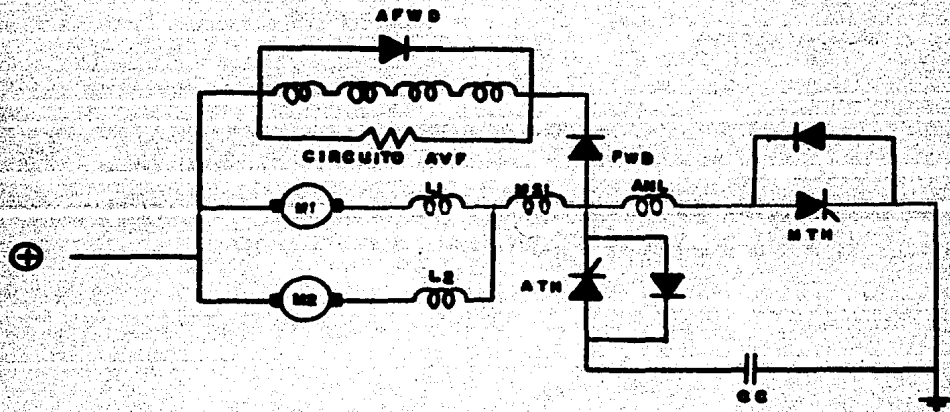


Figura 4.11 Configuración T/F del circuito japonés

4.6 Enfriamiento.

Tradicionalmente a los semiconductores de potencia se les ha enfriado por medio de ventilación forzada, esto tiene como inconveniente que se requiere de un área de disipación grande, además que hay contaminación por polvo.

Un método moderno para el enfriamiento consiste en sumergir los semiconductores en un líquido de enfriamiento (freón R113).

Como se sabe la temperatura de ebullición de un fluido es constante sin importar la cantidad de energía que se le suministra a presión constante. De la cuba en que están sumergidos los semiconductores sale el vapor del

fluido que pasa por convección natural a una cámara enfriada exteriormente, donde se condensa y vuelve a caer en la cuba.

La dificultad de este método radica en que la transferencia de calor entre la fuente caliente y el fluido depende del tipo de ebullición. Esta función entre la transferencia de calor por unidad de área contra diferencia de temperaturas es sumamente no lineal lo que hace que el cálculo del sistema sea difícil y por tanto de relativamente baja confiabilidad.

4.7 Revisión de las tecnologías.

De acuerdo a lo discutido anteriormente podemos revisar las tecnologías de STC.

El origen (el país) del troceador ha definido los tipos de troceador en STC. Los orígenes son Japón y Francia.

Históricamente a Francia se le compró el primer troceador "KESSAR" en 1973 y no se le había comprado otro hasta 10 años después. Por número y generaciones la mayor parte son japoneses, la mayoría con la misma filosofía.

Las características comunes a los troceadores japoneses son las siguientes:

El tipo de conmutación es suave, empleando tiristores de conducción inversa para disminuir los elementos semiconductores del circuito.

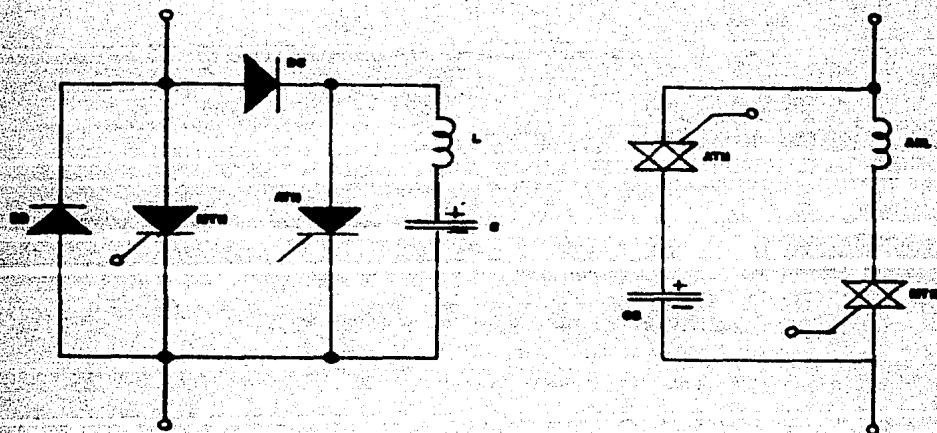


Figura 4.12 Cambio de topología para aplicar tiristores de conducción inversa

Los trocadores japoneses son de configuración de dos fases y el puente de campo es por medio de variación automática (AVF).

En los primeros modelos había cambio de frecuencia para el arranque.

El modelo más reciente aplica el método de enfriamiento de cuba de freón.

Los modelos franceses son en general de conmutación dura y segunda inversión. La configuración es trifásica y el enfriamiento es por ventilación forzada (de aire). El puenteo de campo se realiza con semiconductores en unos y con contactores y resistores en otros.

Los inductores principales (alisamiento y filtro) son realizados en los equipos japoneses con núcleos de hierro y en los equipos franceses con núcleos de aire.

El equipo troceador francés se encuentra "arriba" eléctricamente de las máquinas y el equipo japonés "abajo" teniendo que colocar el equipo con aisladores de porcelana para evitar que una falla a "tierra" del troceador afecta a las máquinas.

La frecuencia de troceo del equipo japonés es de 219 Hertz y la del francés de 360 Hertz.

4.3 Estudio estadístico de las fallas en el troceador.

Se escogió el material M-79 para el análisis de la tecnología troceador, ya que es el material troceador más antiguo y numeroso. Se realizó una recopilación de datos de los elementos que al fallar provocan la inactivación de una motriz. Los datos se obtuvieron de los reportes mensuales de averías de los diferentes talleres de mantenimiento.

Las principales características del comportamiento de las fallas en un material troceador son, que: primero, son mucho menos que las del JH (esto puede verse fácilmente comparando los concentrados de datos del MF-68 y del M-79, ya que el número de trenas en los dos materiales es casi igual), y segundo que se encuentran muy dispersas, esto es, que hay pocos elementos que fallen consistentemente a lo largo del periodo de estudio y que la mayoría de los elementos fallan muy pocas veces (de hecho la mayor parte falla solo una vez durante ésta). Esta dispersión no permite hacer una clasificación o los histogramas de las fallas.

El número de fallas en el equipo troceador es mucho menor que en el equipo de control reostático, aún considerando que el material JH es más antiguo por lo que podemos afirmar que es más confiable, y que dada la gran

dispersión en los datos, que no hay fallas inherentes al funcionamiento del material.

El concentrado de datos del material NM-79 se presenta en el anexo A.

CAPITULO 5

ESTIMACION DE COSTOS DE OPERACION PARA TROCEADORES

De manera análoga al análisis del capítulo 3 se estudia el mantenimiento y el consumo de energía para un material equipado con trocador. En el primer subcapítulo se describen las labores y materiales necesarios para el mantenimiento y el costo de éstos. En el segundo subcapítulo se hace un análisis de energía del tren, después se presentan los algoritmos, listas y curvas utilizados para el análisis de consumo de energía y finalmente se proporcióna el costo de este consumo.

5.1 *Mantenimiento al equipo trocador.*

A diferencia del mantenimiento realizado al equipo JH, para el equipo trocador se consideran sólo dos actividades fundamentales:

- A) Pruebas de entrada.
- B) Mantenimiento menor.

- B.1 Inspección I.
- B.2 Inspección II.
- B.3 Inspección III.
- B.4 Rehabilitación.

La inspección I se realiza cada mes, consiste en verificar y cambiar, debe incluir la revisión de todas las partes móviles, limpieza del equipo y aislantes.

La inspección II se efectúa cada 6 meses, es una revisión más completa del equipo que la efectuada en la inspección I. Debe incluir limpieza exhaustiva de equipos cubiertos y cambio de partes defectuosas.

La inspección III se efectúa cada 12 meses, es más detallada, verificada en condiciones de operación. Limpieza de cada parte, incluso aislantes y superficies de contacto. Reemplazo de partes defectuosas.

Todos los equipos eléctricos deben ser rehabilitados cada 3 años; desensamble completo de equipos y verificación de cada parte, lubricación y reemplazo o corrección de cualquier equipo defectuoso. Debe efectuarse una revisión detallada en condiciones de operación de cada equipo después de la rehabilitación.

Las actividades realizadas durante cada uno de estos mantenimientos son las siguientes:

Equipo troceador Francés.

A) Pruebas de entrada

Inversiones

Montaje de contactores DIM y DET.

Pruebas de tracción.

Pruebas de frenado.

B) Mantenimiento menor.

B.1 Inspección I.

Limpieza, verificación del estado y del funcionamiento de los siguientes elementos:

- Bloque semiconductor

Carbones

Colector del motor del ventilador.

Filtros

- Tiristores

Diodos semiconductores

- Bloque CB

Contactos fijos y móviles

- Bloque de tracción.

Contactos fijos y móviles

- Bloque de frenado

Contactos fijos y móviles

- Bloque de lógica PCH - PL

Contactos fijos y móviles

- Disyuntores

Contactos de potencia

Contactos auxiliares

Electroválvulas

- Inversor

Electroválvulas

Contacto móvil y fijo

- Contactor de precarga del filtro
Contactos fijo y móvil
- Conmutador KFF
Contactos fijo y móvil

B.2 Inspección II.

- Bloque semiconductor
Tiristores
Diodos semiconductores
Carbones del motor del ventilador
Colector del motor del ventilador
- Bloque de frenado
Contactos fijo y móviles
- Disyuntores
Contactos fijos y móviles
- Contactor de precarga del filtro
Contactos fijo y móvil
- Bloques de lógica PCR-PL
Contactos fijos y móviles
- Conmutador KFF
Contactos fijos y móviles

B.3 Inspección III.

- Bloque CB
Contactos fijos y móviles
Partes móviles de los contactores

- Bloque emisor
 - Contactos fijos y móviles
 - Partes móviles de los contactores
- Inversor
 - Contactos fijos y móviles
 - Partes móviles del contacto

Equipo troceador Japonés

A) Pruebas de entrada.

- Inversiones
- Tracción/frenado
- Elevación: Tracción
- Frenado Regenerativo
- Frenado de Urgencia
- Frenado de Emergencia.

B) Mantenimiento menor.

B.1 Inspección I.

Limpieza, verificación del estado y del funcionamiento de los siguientes elementos:

- Caja de control troceador
- Filtros de aceite
- Tapas
- Tornillos fijadores
- Condensadores
- Inductores
- Unidad de diodo FWD
- Condensador del filtro

- Condensador de conmutación
- Inductor saturable
- Ventilador de enfriamiento del troceador

Aspas

Bobina

- Contactor de leva

Partes aislantes y móviles

Contactos fijo y móvil

Cables flexibles

Resorte

Bobina

- Relevador de sobrevoltaje

Resistencia del contacto

Resistencia de la bobina

- Relevador de bajo voltaje

Partes aislantes y móviles

Contactos fijo y móvil

Cables flexibles

Resorte

Bobina

- Caja principal de fusibles

- Inductor de alisamiento

Marco del cuerpo del inductor

Tubo exterior

Caja terminal

Cableado

Ducto

Gufa de aire

Cinta de vinil

Tornillería

- Ventilador de enfriamiento del inductor de aislamiento.

- Inductor del filtro

Marco de cuerpo del inductor

Tubo exterior

Caja terminal

Cableado

Ducto

Gufa de aire

Cinta de vinil

Tornillería.

Limpieza y revisión visual de las siguientes unidades:

- Unidad de tarjetas
- Unidad de la fuente de poder
- Unidad de señal P
- Unidad de pulsos de compuerta
- Unidad transformadora de compuerta
- Resistencia reductora
- Resistencia de frenado
- Resistencia paralela de campo

B.2 Inspección II

- Caja de control troceador

Filtros de aceite

Tapas

Tornillos fijadores

Condensadores

Inductores

- Unidad de tarjetas (S)
- Unidad de la fuente de poder (S)
- Unidad de pulsos de compuerta (S)
- Contactor de leva (S)
- Relevador de bajo voltaje (S)
- Caja principal de fusibles (S)
- Resistencia reductora
- Resistencia de frenado
- Relevador de sobrevoltaje

B.3 Inspección III.

- Condensador de filtro
- Condensador de conmutación
- Inductor saturable
- Contactor de leva (L)
- Caja de control troceador
- Unidad del tiristor principal
- Unidad del tiristor de sobrevoltaje
- Unidad transformadora de compuerta
- Resistencia paralela de campo
- Inductor de aislamiento
- Inductor de filtro

(L) Además del mantenimiento establecido es importante su lubricación.

(S) Además del mantenimiento establecido es importante verificar su fijación.

5.1.1 Costos de mantenimiento para el equipo trocador.

Para la evaluación de los costos de mantenimiento del equipo trocador se procederá de manera similar a la evaluación de los costos de mantenimiento del equipo JH.

En este subcapítulo solo se analizan los costos de mantenimiento para el equipo trocador japonés (NH-79, NC-82 y NH-83A) debido a que la mayoría de los trenes cuentan con este equipo y a la similitud del mantenimiento de este con respecto al del trocador francés.

a) Costos de mantenimiento por mano de obra.

- Mantenimiento menor. Inspección I.

El tiempo requerido durante la inspección I de cada equipo trocador es de 3 horas, el personal utilizado es un técnico electricista con un salario mensual de \$90,000.

Con base en los datos anteriores tenemos:

$$CI1TR = t11 \text{ (SME-NE)}$$

$$ETTA = \frac{\text{No. de días hábiles del año}}{\text{Intervalo de tiempo entre entradas al taller del trocador}}$$

de donde

$$CI1ATR = CI1TR \cdot ETTA$$

en donde:

CI1TR = Costo de la inspección I por cada trocador

CI1ATR = Costo anual de la inspección I por cada trocador

t11 = Tiempo requerido para la inspección I en horas

sustituyendo datos en las ecuaciones:

$$CII\text{TR} = 3(375)(1) = \$ 1,125$$

$$\text{ETTA} = \frac{260}{30} = 8.67$$

$$CII\text{ATR} = (1,125)(8.67) = \$9,753.75$$

el costo anual de la inspección l por tren será de:

$$CII\text{AT} = CII\text{ATR}(\text{NO. DE MOTRICES})$$

$$CII\text{AT} = (9,750)(6) = \$ 58,500$$

- Mantenimiento menor. Inspecciones II y III.

El tiempo requerido para las inspecciones II y III es de 4 horas, el personal utilizado es un técnico electricista con un salario mensual de \$90,000.

con base en los datos anteriores tenemos:

$$\text{CMCTR} = \text{tMC}(\text{SHE} \cdot \text{NE})$$

$$\text{CMCATR} = \text{CMCTR} \cdot \text{IMCA}$$

en donde:

CMCTR = Costo de las inspecciones II y III por cada troceador

CMCATR = Costo anual de las inspecciones II y III por cada troceador

sustituyendo datos en cada una de las ecuaciones:

$$\text{CMCTR} = 4(375)(1) = \$1,500.$$

$$\text{CMCATR} = (1,500)(2) = \$3,000.$$

el costo anual por tren es de:

$$\text{CMCAT} = \text{CMCATR}(\text{NO. DE MOTRICES})$$

$$\text{CMCAT} = (3,000)(6) = \$18,000$$

de donde se obtiene que los costos totales por concepto de mano de obra para el equipo troceador son:

Costo anual por troceador = \$9,750 + \$3,000 = \$12,750

Costo anual por tren = \$58,500 + \$18,000 = \$76,500

b) Costos de mantenimiento por consumo de refacciones:

Equipo Troceador	Prov.	Piezas
Elemento de fusible	NAL	50
Condensador del motor del ventilador	NAL	20
Motor del ventilador	NAL	10
Potenciómetro	NAL	40
Detector de velocidad	NAL	6
Generador de señal P	NAL	12
Switch de leva para inversor	NAL	40
Switch de leva tipo OC-40	NAL	50
Embalaje para switch electroneumático	NAL	300
Sello guarda polvo	NAL	100
Anillo para interruptor	NAL	100
Transformador PEX	NAL	3
Transformador para DCCT y DCPT	NAL	3
Ruptor sin fusible	NAL	10
Rectificador de selenio	NAL	10
Placa rectificadora para PEX	NAL	2
Tubo resistor	NAL	7
Placa soporte de diodo	NAL	20
Conmutador KFP	NAL	6
Tiristor auxiliar tipo MS-151	NAL	20
Diodes de rodamiento libre tipo MC-193	NAL	4

Equipo Troceador	Prov.	Piezas
Diode auxiliar de rodamiento libre tipo SP-400EL24	NAL	12
Reactor de estabilización	NAL	4
Ventilador de motor	NAL	2
Condensador del ventilador	NAL	7
Unidad de tarjetas	NAL	6
Fuente de poder	NAL	6
Filtro de aire	NAL	200
Unidad de pulsos de compuerta	NAL	6
Resistor auxiliar	NAL	4
Transformador de potencial	NAL	4
Transformador de corriente	NAL	6
Unidad de resistencias	NAL	12
Escobilla de carbón	NAL	10,000
Generador de velocidad	NAL	30
Válvula de alimentación	NAL	10
Válvula de retención	NAL	10
Acoplamiento asistente	NAL	10
Módulo MPDU	IMP	20
Módulo MIDU	IMP	20
Módulo MLDV	IMP	20
Módulo MLDU	IMP	10
Módulo MNON	IMP	20
Módulo MLOW	IMP	10
Módulo MCEA	IMP	10
Módulo MPOM	IMP	10
Conjunto ventilador de chasis	IMP	10

Equipo Trocador	Prov.	Piezas
Conjunto ventilador de pozo	IMP	6
Ventilador	IMP	20
Condensador	IMP	104
Transformador de potencia	IMP	10
Transformador de intensidad	IMP	4
SELF Inductancia	IMP	4
Cubo de conexión de potencia	IMP	40
Toma de conector de mando	IMP	10
Self Spet	IMP	4
Self Segt	IMP	4
Self Spat	IMP	4
Self Spca	IMP	4
Self Sics	IMP	4
Self Cson	IMP	4
Self Scon	IMP	4
Transformador de intensidad BT	IMP	4
Transformador de lectura	IMP	4
Diodo a 177 PZ	IMP	12
Conjunto circuito RC	IMP	4
Conjunto circuito impreso	IMP	38
Fusible 500 CP	IMP	20
Diodo KM	IMP	20
Circuito RC completo	IMP	8
Tiristor TMS	IMP	10
Embace flotante	IMP	10
Empuñadura orientable	IMP	4

Equipo troceador	Prov.	Piezas
Tiristor T1	IMP	10
Transformador de mando	IMP	10
Bloque auxiliar de mando	IMP	10
Resistencias	IMP	60
Circuito impreso completo	IMP	28
Platina NT equipada	IMP	4
Conjunto circuito drive	IMP	10
Transformador IUP	IMP	10
Transformador IUF	IMP	10
Diodo KV	IMP	10
Diodo XU	IMP	10
Transistores	IMP	200
Contactador Electromecánico tipo DF-52AG	NAL	10
Pastilla de contacto tipo DF-52AG	NAL	100
Contactador electromagnético tipo SD-A35	NAL	20
Conjunto contacto fijo tipo UC-S680HA	NAL	40
Pastilla para contacto electromagnético tipo UP-526-1	NAL	200
Pastilla para contacto electromagnético tipo UP-2901	NAL	440
Pastilla para contacto electromagnético tipo UP-5264	NAL	440
Relevadores		
Relevadores UR y ER tipo SD-A12L	NAL	15
Relevador auxiliar tipo SP-A12	NAL	50
Relevador auxiliar tipo FBV34K91/2P	NAL	50

No se presentan los precios unitarios debido a que estas refacciones se compran en bloques.

El costo anual del mantenimiento por consumo de refacciones es de:

\$ 28'800,000.00

El costo anual del mantenimiento por consumo de refacciones por tren es de:

$(28'800,000.00)/58 = \$ 496,551.72$

Por lo tanto el costo anual de mantenimiento para el equipo troceador japonés es de:

$CAM = \$76,500.00 + \$496,551.72 = \$ 573,051.72$

5.2 Balance de energía.

Fuera del punto tocante al acondicionador, el análisis de energía para un tren equipado con troceador y frenado regenerativo es igual al hecho en el capítulo tres para uno equipado con combinador de resistores. Así pues, en cuanto al acondicionador de energía, tenemos que el control con electrónica de potencia representa por comparación con el control reostático un gran ahorro de energía, ya que, en primer lugar es mucho más eficiente y en segundo permite la posibilidad de recuperación de energía.

Mientras que durante el arranque el combinador de resistores tiene una eficiencia muy baja, ya que por la ausencia de una fcm importante debe limitar la corriente en el motor desviandola por resistores, disipando energía en forma de calor. Para un troceador, en cambio, se considera que en general para tensiones superiores a 100 [V] en régimen permanente, las pérdidas en los elementos del troceador son despreciables, alcanzándose rendimientos superiores al 90%. Para el caso de los troceadores de los trenes que STC ha adquirido se tiene como dato una eficiencia global del 96%.

Durante el frenado, al igual que en el control convencional los motores de tracción son usados como generadores, convirtiendo la energía cinética del tren en energía eléctrica, pero en el caso del frenado regenerativo esta energía no se pierde en los resistores, sino que una parte se regresa a la línea para ser usada por otros trenes, permitiendo recuperar parte de la energía utilizada para acelerar al tren.

La cantidad de energía recuperada está muy limitada por los siguientes factores:

- La energía disponible para ser recuperada es la cinética que posee el vehículo en el momento del frenado, esta cantidad es evidentemente menor que la utilizada para acelerar el tren, ya que parte de esta se usó para vencer la resistencia al avance; las pérdidas en los motores, en el equipo de control, en la transmisión mecánica, en los equipos auxiliares y aquellas debidas a las características del itinerario. Esta energía disponible depende pues, de la eficiencia del equipo de tracción y de las características del itinerario, como por ejemplo la pérdida de energía cinética durante la marcha libre.
- La eficiencia del equipo para convertir la energía cinética en energía mecánica, la cual se analiza de la misma manera, en sentido inverso, que en el caso del tren en tracción.
- La regulación del frenado impuesta por las condiciones de servicio, puede hacer necesaria la limitación de la corriente por medio de resistores externos, con las consecuentes pérdidas; además una recuperación en plena forma puede no ser posible a altas velocidades, cuando el voltaje en las máquinas es demasiado más alto que el de línea.

- La energía cinética mínima necesaria para poder regenerar dados los requisitos de servicio, involucra un límite mínimo de velocidad.
- La receptividad de la línea, esto es la capacidad del sistema de absorber la energía eléctrica regenerada. Dicha capacidad está en función del balance instantáneo de potencia entre aquellos trenes que suministran energía frenando regenerativamente y aquellos que la demandan en tracción, y está limitada por las condiciones del sistema, tales como:
 - El máximo voltaje permitido en la línea
 - La impedancia del tercer riel
 - La potencia regenerada.

Esta capacidad está representada por un coeficiente de receptividad en la línea (C_r), que expresa el porcentaje de la energía regenerada que es absorbida en forma útil por la línea.

La magnitud de energía ahorrada para aplicaciones prácticas es de aproximadamente 50%. Este ahorro es posible bajo las mismas condiciones favorables, pero como en la realidad estas condiciones son poco factibles de obtener, el ahorro real de energía está por debajo de este porcentaje.

Así, finalmente se tiene que la recuperación de energía, para un sistema del tipo Metro según la literatura sobre el tema, esta limitada al orden de un 20%. Como un dato comparativo, se presenta el de 1977 para el sistema de metro de Sao Paulo, el consumo específico de energía fue reducido de aproximadamente 15.12 MJ/carro-km (4.2 kW-hr/carro-km) sin regeneración, a cerca de 12.24 MJ/carro-km (3.4 kW-hr/carro-km) con regeneración. Es decir que hubo un ahorro del 19.05 %.

A continuación se presentan los resultados obtenidos al final del análisis para su comparación con los datos obtenidos en Sao Paulo:

	Sao Paulo	Cd. de México
Sin regeneración	15.12 MJ/carro-km	14.58 MJ/carro-km
Con regeneración	12.24 MJ/carro-km	12.28 MJ/carro-km
Ahorro de energía	19.05%	15.79%

Los resultados del análisis están en por tren, mientras que aquí se presentan en por carro motriz, la conversión se realizó con el dato de 6 carros motrices por tren para una formación de 9 carros.

FLUJO DE ENERGIA PARA UN CONTROL CON TROCEADOR Y FRENADO REGENERATIVO.

De manera análoga a la hecha en el capítulo tercero, se muestra una figura que da una idea del flujo de energía para un control por semiconductores y frenado regenerativo:

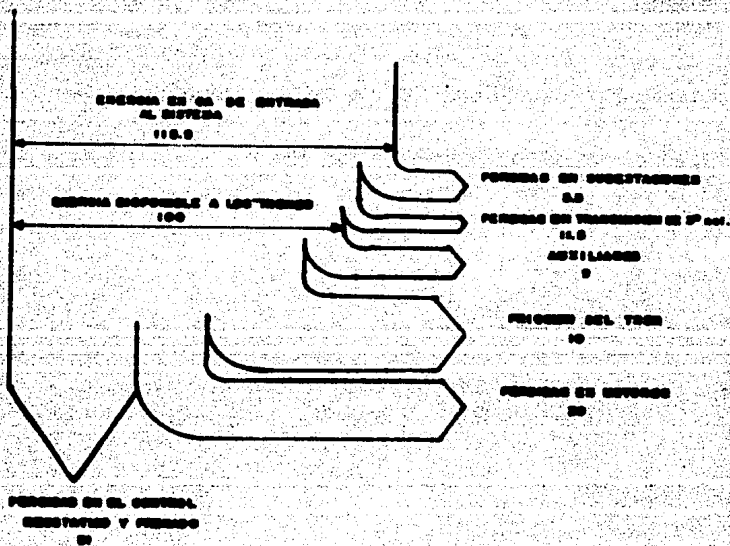


FIGURA B.1

3.2.1 Análisis de consumo de energía.

Para el análisis de consumo de energía de un tren equipado con troceador y provisto con frenado regenerativo, se utiliza el mismo método que para el control reostático. Por lo tanto, se usan las curvas de datos presentadas en el capítulo tres. Se utilizan asimismo los resultados obtenidos para la etapa de tracción.

- CONSIDERACIONES PARA EL ANALISIS DEL CONSUMO DE ENERGIA.

Son las mismas del capítulo cuatro y además:

1. En la etapa de marcha se considera que el tren opera en marcha libre.
2. La desaceleración de servicio para 3/4 de la capacidad nominal es de 1.33 m/s^2 .

- ALGORITMOS, LISTADOS Y CURVAS.

Los algoritmos utilizados para la obtención de las curvas se muestran el anexo B.

Los listados y curvas se encuentran a continuación.

MARCHA LIBRE

V^0m [m/s]	$[A^0m]$ [m/s ²]	Vm [m/s]	$-Am$ [m/s ²]	Em [m]
.0	-.073	19.44	.135	317.95
.3	-.073	19.24	.133	337.26
.6	-.073	19.11	.132	356.43
.8	-.073	18.98	.131	375.47
1.1	-.073	18.85	.130	394.38
1.4	-.073	18.72	.128	413.16
1.7	-.073	18.59	.127	431.81
1.9	-.073	18.46	.127	450.33
2.2	-.073	18.33	.126	468.72
2.5	-.073	18.2	.125	486.98
2.8	-.073	18.08	.124	505.12
3.1	-.073	17.96	.123	523.14
3.3	-.073	17.84	.122	541.04
3.6	-.073	17.72	.121	558.82
3.9	-.073	17.6	.121	576.48
4.2	-.074	17.48	.120	594.02
4.4	-.074	17.36	.119	611.44
4.7	-.074	17.24	.118	628.74
5.	-.074	17.12	.117	645.92
5.3	-.074	17.	.117	662.98
5.6	-.074	16.88	.116	679.92
5.8	-.075	16.76	.115	696.74
6.1	-.075	16.65	.114	713.44
6.4	-.075	16.54	.113	730.03
6.7	-.076	16.43	.113	746.51
6.9	-.076	16.32	.112	762.88
7.2	-.077	16.21	.111	779.14
7.5	-.077	16.1	.110	795.29
7.8	-.077	15.99	.110	811.33
8.1	-.078	15.88	.109	827.26
8.3	-.078	15.77	.109	843.08
8.6	-.079	15.66	.108	858.79
8.9	-.08	15.55	.107	874.39
9.2	-.08	15.44	.106	889.88
9.4	-.081	15.33	.105	905.26
9.7	-.082	15.22	.104	920.53
10.	-.083			
10.3	-.083			
10.6	-.085			
10.8	-.086			

MARCHA LIBRE

v' m [m/s]	$[A'm]$ [m/s ²]
11.1	
11.4	-.086
11.7	-.087
11.9	-.088
12.2	-.09
12.5	-.091
12.8	-.092
13.	-.093
13.3	-.094
13.6	-.095
13.4	-.097
14.2	-.098
14.4	-.099
14.7	-.101
15.	-.102
15.3	-.104
15.6	-.105
15.8	-.107
16.1	-.109
16.4	-.11
16.7	-.113
16.9	-.114
17.2	-.117
17.5	-.118
17.8	-.12
18.1	-.122
18.3	-.124
18.6	-.126
18.9	-.128
19.2	-.13
19.4	-.132
19.7	-.135
20.	-.137
20.3	-.14
20.6	-.142
20.8	-.145
21.1	-.147
21.4	-.15
21.7	-.154
21.9	-.157
22.2	-.159
	-.161

FRENADO

V _f (M/S)	t (S)	F _f (KN)	P _f (MW)	E _f (m)	T _f (MJ)
22.22	.0	216.65	4.814		
21.56	.5	240.14	5.177		
20.89	1.	264.	5.515		
20.23	1.5	287.49	5.816		
19.56	2.	311.34	6.09		
19.44	2.09	315.49	6.291		
18.9	2.5	315.49	5.963		
18.23	3.	315.49	5.751		
17.57	3.5	315.49	5.543		
16.9	4.	315.49	5.332		
16.24	4.5	315.49	5.124		
15.57	5.	315.49	4.912	908.87	0.
14.91	5.5	315.49	4.704	917.29	2.404
14.24	6.	315.49	4.493	923.77	4.704
13.58	6.5	315.49	4.284	931.32	6.899
12.91	7.	315.49	4.073	937.35	8.989
12.25	7.5	315.49	3.865	943.73	10.974
11.58	8.	315.49	3.653	949.59	12.854
10.92	8.5	315.49	3.445	955.21	14.629
10.25	9.	315.49	3.234	960.51	16.299
9.59	9.5	315.49	3.026	965.46	17.864
8.92	10.	315.49	2.814	970.09	19.324
8.26	10.5	315.49	2.606	974.38	20.679
7.59	11.	315.49	2.395	978.35	21.93
6.93	11.5	315.49	2.186	981.97	23.076
6.26	12.	315.49	1.975	985.27	24.117
5.6	12.5	315.49	1.767	988.23	25.053
4.93	13.	315.49	1.555	990.87	25.884
4.27	13.5	315.49	1.347	993.16	26.61
3.6	14.	315.49	1.136	995.13	27.231
3.33	14.2	315.49	1.051	995.82	27.45
2.94	14.5			996.76	
2.27	15.			998.07	
1.61	15.5			999.03	
.94	16.			999.67	
.28	16.5			999.97	
.0	16.71			1000.	

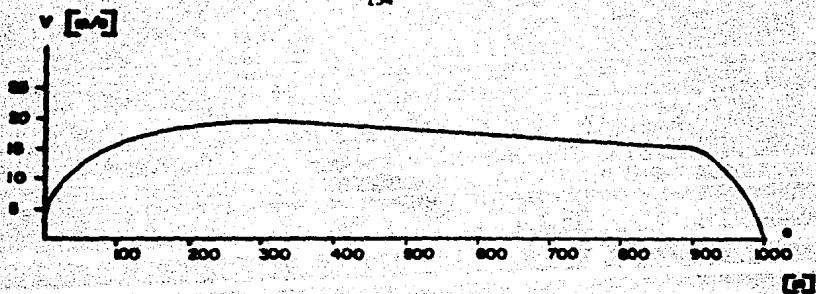


FIGURA 6.2

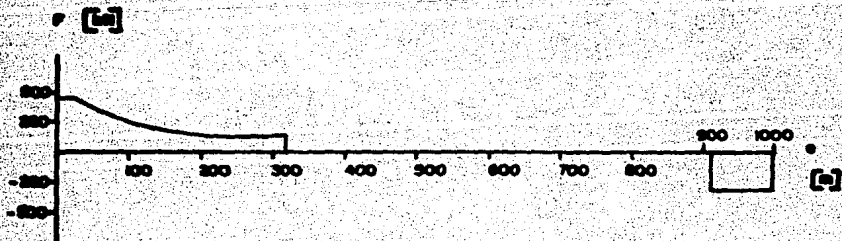


FIGURA 6.3

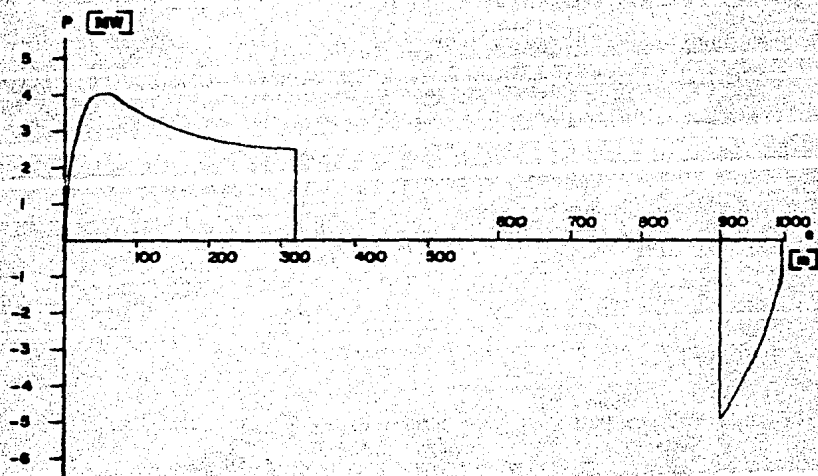


FIGURA 5.4

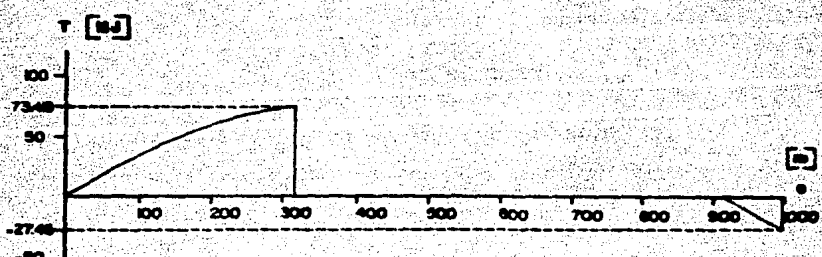


FIGURA 5.5

Para este análisis se toman los datos y suposiciones considerados en la sección respectiva del capítulo tres, además de las siguientes:

-El coeficiente de receptividad de la línea para el sistema de metro mexicano se tiene como dato del 60%. Este porcentaje es bastante alto, esto es debido al gran volumen de operación que maneja STC.

La energía mecánica ejercida para acelerar al tren es según los resultados, igual a:

$$73.419 \text{ [MJ]}$$

Encontramos la energía eléctrica consumida durante la tracción, considerando la eficiencia del troceador, del motor de CD y de la transmisión mecánica:

$$73.419 \text{ [MJ]} \div (0.96 \times 0.95 \times 0.92) = 87.5 \text{ [MJ]}$$

Ahora bien, para analizar la recuperación de energía se observa primero que la energía disponible para recuperarse al final de la tracción, esto es la energía cinética en ese punto es igual a:

$$\frac{1}{2} \times 330.008.8 \times 19.44^2 = 62.36 \text{ [MJ]}$$

Es decir un 71.27% de la energía necesaria para acelerar al tren, la pérdida se debe a la eficiencia del equipo de tracción y a las fuerzas resistentes.

Durante la marcha libre la energía cinética se reduce, por la resistencia al avance a:

$$\frac{1}{2} \times 330.008.8 \times 15.35^2 = 38.98 \text{ [MJ]}$$

Así la energía que puede recuperarse se reduce a un 44.432.

Las características de la máquina como generador, dadas las condiciones de servicio, dan como resultado que 27.45 [MJ] (trabajo mecánico proporcionado a las máquinas durante el frenado) pueden ser convertidos a energía eléctrica; así la posibilidad de recuperación se reduce a 31.37%.

La energía eléctrica proporcionada por las máquinas se obtiene con la eficiencia del troceador, de la máquina de CD y de la transmisión mecánica:

$$27.45 \text{ [MJ]} \times (0.96 \times 0.95 \times 0.92) = 23.03 \text{ [MJ]}$$

una vez más la capacidad de recuperación disminuye, ahora a 26.32%.

La última restricción la proporciona el coeficiente de receptividad de la línea, por lo que finalmente la energía recuperada es:

$$23.03 \text{ [MJ]} \times 0.6 = 13.82 \text{ [MJ]}$$

por lo tanto la recuperación de energía alcanzada es del 15.79%.

La energía eléctrica consumida total por tren y por kilómetro recorrido es, entonces:

$$87.5 \text{ [MJ]} - 13.82 \text{ [MJ]} = 73.68 \text{ [MJ/tren-km]}$$

que representa un ahorro de energía del 51.03% en comparación con el combinador de resistores.

5.2.2 Análisis del costo de consumo de energía.

Se utilizan las mismas consideraciones que en la parte correspondiente del capítulo tres.

Es así, que el consumo anual de energía por tren es:

$$73.68 \text{ [MJ/tren-km]} \times 111,246 \text{ [km/año]} = 8,196,605.28 \text{ [MJ/tren-año]}$$

Así el costo anual por consumo de energía de un tren equipado con troceador y provisto con frenado regenerativo resulta de:

$$8,196,605.28 \text{ [MJ/tren-año]} \times 5.125 \text{ [$/MJ]} = 42,007,601 \text{ [$/tren-año]}$$

5.3 Costos de operación del troceador.

Finalmente:

El costo total anual por operación del material troceador es igual a:

OPTR = Costo anual de manteni-	+	Costo anual por consumo
miento		de energía

$$OPTR = \$ 573,051.72 + \$ 42,007,601.00 = \$ 42,580,652.72$$

CAPITULO 6

TRANSFORMACION

En el presente capítulo se hará la descripción de la transformación desde el punto de vista del trabajo necesario para que los trenes MP-68 cambien su control reactivo por uno de estado sólido.

Inicialmente se trata superficialmente sobre el desarrollo reciente en -
tranzadores para aplicaciones de transporte urbano, especialmente en lo -
que se refiere a la mejora tecnológica en tiristores rápidos.

A continuación se estudia la transformación, la cual se divide en etapas diferenciadas por el tipo de trabajo que se realiza. Así se analiza el -
tiempo y personal necesario para cada una de las etapas.

Finalmente se presenta la disposición y situación de los elementos de los equipos en el carro.

6.1 Desarrollo reciente de los troceadores.

El circuito de potencia del troceador es un circuito relativamente sencillo en su concepción. Las complicaciones tecnológicas que surgían en el momento de su implementación eran debidas principalmente a la capacidad en general de los tiristores, ya que las derivadas en el tiempo de la tensión de conducción y de la corriente de conducción son perjudiciales para los tiristores, sobretodo la segunda, que al alcanzar ciertos valores puede destruir la pastilla de semiconductor. Para superar las desventajas tecnológicas que presentaban los tiristores se procedía de la siguiente manera: Para soportar las altas tensiones se colocaban varios tiristores en serie, pero como los tiristores no pueden ser exactamente idénticos la posibilidad de que uno conmutara antes que cualquiera de los otros era segura y por tanto ese tiristor soportaría toda la tensión, destruyéndose. Por lo que se tenían que introducir redes de elementos pasivos para asegurar una conmutación lo más simultánea posible. Para soportar las corrientes de trabajo del sistema se procedía a colocar tiristores en paralelo, igual que en el caso anterior para evitar que el tiristor que encendiera primero tomara toda la corriente, se introducían redes de elementos pasivos. Las bajas velocidades de conmutación que tenían los tiristores forzaban al diseño de los elementos de apagado a ser muy grandes; la solución en el método de control de ancho de pulso fué la de colocar troceadores en paralelo y hacerlos operar desfasados y en ocasiones a distintas frecuencias para poder reducir el tamaño de los filtros.

El desarrollo tecnológico de los tiristores se ha enfocado en lograr que los tiristores sean más rápidos para apagarse, para que soporten mayores tensiones inversas y de bloqueo, y que tengan una mayor capacidad de co-

riente de conducción.

Uno de los inconvenientes que se presentan al hacer crecer el área de la oblea de semiconductor con el fin de mejorar su capacidad de corriente de conducción, es la velocidad de propagación de la señal de encendido que llega por la compuerta, al actuar primero en algunas regiones de la pastilla provoca que estas se enciendan y la corriente total tienda a pasar por ellas. Este efecto es parecido a tener una gran cantidad de tiristores en paralelo y que la señal de encendido llegara primero a alguno de ellos, el tiristor se perforará en aquellas regiones. En general este problema se agrava con la temperatura, de aquí se desprende que uno de los métodos para lograr circuitos de trocador con el mínimo de semiconductores es mejorar los métodos de enfriamiento. Esto se logra actualmente enfriando con freón a los semiconductores. En nuestra opinión esta solución es transitoria, en el tiempo en que la tecnología de materiales logra un mayor perfeccionamiento en los semiconductores de potencia.

El trocador de una sola fase y de un solo elemento de conmutación práctico por cada elemento teórico es actualmente viable tanto en su concepción tecnológica como en su economía de producción. De hecho existe un trocador actualmente en uso en el sistema de Metro de la ciudad de París y ese mismo sistema conocido como segunda generación es puesto en marcha en México en el tren NM-73C que tiene el equipo de control Kassar (primer trocador puesto en servicio en México) y éste por su concepción y enfoque de servicio es el que proponemos para la conversión del antiguo sistema NP-68 y sus similares.

6.2 Transformación del material MP-68.

Para la realización de la modificación hay que recordar que los principales componentes del MP-68 son: el combinador JH que incluye los interruptores de potencia y los interruptores de control, el interruptor general DET, los contactores de puenteo de campo CHA y CHB, los 17 resistores del reóstato, el puente inductivo y los resistores de puenteo, así como los ventiladores y fuentes auxiliares, además acoplado al sistema está toda la lógica de control con base en relevadores ubicada en los cofres nones (con algunos dispositivos electrónicos en el JHR).

Para realizar la conversión es necesario desmontar todo el equipo anteriormente mencionado. Los cofres que contienen la lógica de control necesitan ser modificados para la colocación de los sistemas del trocador. En los cofres pares donde se encuentran los resistores es necesario acondicionar cofres cerrados. El cableado de alta y baja tensión se modifica totalmente. En el MP-68 el cableado está hecho en charolas por el centro y los lados del bajo-chasis. A las perforaciones circulares en los travesaños a través de los cuales se realizará el cableado en los equipos con trocador solo es necesario soldar los soportes en la parte inferior de la perforación. La modificación del sistema neumático también es necesaria debido a que hay que dejar espacio para el ventilador del cofre de semiconductores, para ésto se cambia de lugar el tanque de la EMD; también hay que crear una línea de alimentación para el motor neumático que acciona el inversor y los contactores de puenteo de campo, así como una línea para accionar los disyuntores DET y DIM (que se localizan en la cabeza del circuito y en la cabeza del trocador respectivamente). Por lo que respecta a la modificación del cableado de baja tensión es completa e incluye los tableros del

interior de los carros.

Para la transformación del MP-68 el trabajo se puede dividir en tres etapas: desmontaje, montaje y pruebas.

6.2.1 Desmontaje.

La primera operación a realizar consiste en desacoplar la carretilla de la carrocería, para luego proceder al descenso del DET, del bloque de resistencia del equipo de los cofres 1, 3, 5 y 7, del equipo JH y equipo restante, así como del tanque RA (tanque auxiliar de la EMD) y del TMP (transmisor de medida de presión). También se eliminan los soportes innecesarios. Después se procede al descableado de alta tensión y baja tensión.

En las operaciones de desmontado de equipo se tiene experiencia en los talleres de mantenimiento mayor, por lo que el trabajo es rápido ya que en general es un trabajo destructivo (para el cableado). Se sugiere que estos trabajos se realicen en las zonas del taller correspondiente, ya que así se puede trabajar con tiempos, movimientos y personal bien especificados; de esta manera el carro llegaría a la zona reservada para la transformación listo para el nuevo cableado y las modificaciones de pallería.

Es necesario, para esta etapa un ingeniero para supervisar la ruta del carro en el desmontaje inicial y para dirigir al desmontaje final, un trabajador de pallería para eliminar soportes y anclajes innecesarios, así como para eliminar todo lo que presente problemas durante el descenso del equipo. Se necesitan además otros tres trabajadores para el desacoplamiento de la carretilla, descenso del equipo y descableado. El tiempo ocupado en

esta etapa será de 2 1/2 días en el desacoplamiento de la carretilla y des
censo del equipo, y de 3 días en el descableado de alta y baja tensión.

6.2.2 Montaje del equipo troceador.

El primer trabajo ha realizar será la modificación y creación de cofres pa
ra el equipo, así como la realización de soportes y anclajes necesarios. Después se procede a hacer las fijaciones para las inductancias del filtro y de alisamiento, la del tanque RA en la parte trasera derecha, el soporte del inversor y el montaje definitivo de las inductancias. También se fija el motoventilador del bloque semiconductor y se efectua la puesta en el ba
jo-chasis de las fijaciones de los cofres 2, 4 y 6.

Luego se procede al montaje y cableado de los cofres 1, 3, 5 y 7; montaje y revisión de los disyuntores y realización de la lógica cableada.

Después se hace necesaria la realización de un soporte especial para el bloque semiconductor y el montaje del fusible de tracción. Para luego proceder al recableado de baja y alta tensión, así como las pruebas dieléctricas, que consisten en aplicar 3000 volts, 60 Hertz durante un minuto a todo el cableado de alta tensión con respecto a tierra.

Finalmente se procede al montaje del equipo, montaje y enlace de los cofres 2, 4 y 6, montaje del tanque RA y del TMP, y al montaje y unión del equipo restante de los cofres 1, 3 y 5.

El último trabajo será el acoplamiento de la carretilla y la realización de las pruebas al cableado de los motores, que consisten en utilizar una fuente de corriente de 100 Amperes, poniendo en marcha la motriz algunos metros.

verificandose el cableado de los motores y del inversor.

Esta etapa será la que tome la mayor parte del tiempo de la transformación, ya que el cableado de baja tensión requiere de un trato cuidadoso y las operaciones son lentas debido a la poca experiencia inicial de la transformación. Toda esta etapa se realiza en la zona reservada para la transformación, la cual deberá tener fácil acceso para el material y el equipo, así como contar con las facilidades requeridas tales como una grúa viajera y la adecuada instalación eléctrica.

Nuevamente un ingeniero supervisará el trabajo. Dos personas de pailería son necesarias, una en la modificación y creación de cofres para el equipo y la otra en la manufactura de soportes y anclajes en el carro. Serán necesarios alrededor de 5 trabajadores en algunas partes del montaje, aunque la mayoría del tiempo solo trabajarán tres personas en el cableado. La etapa de montaje puede tomar aproximadamente de 20 a 30 días.

6.2.3 Pruebas

Cuando todas las motrices han sido modificadas y el tren se encuentra con todos sus carros se procede a la realización de tres tipos de pruebas diferentes que son: pruebas estáticas, dinámicas y tipo.

a) Pruebas estáticas

Estas pruebas se realizan con el tren en reposo y se verifica la continuidad en los circuitos de control y de potencia.

b) Pruebas dinámicas.

Para estas pruebas se hace circular al tren sin carga, en líneas en horas fuera de servicio o en una vía de pruebas, para comprobar en

forma general el funcionamiento de los diferentes pasos de tracción y frenado (especialmente el frenado de urgencia).

c) Pruebas tipo.

Estas pruebas se realizan con el tren dando un servicio normal en la línea. Limitandose la aceleración y desaceleración máximas a $1.2[m/s]$ para evitar un "jerk" importante.

En estas pruebas se revisa el buen funcionamiento del tren, registrando el comportamiento de las variables más importantes, así como verificando el funcionamiento de las diferentes regulaciones del sistema de control para diferentes situaciones.

Los registros se efectúan en una motriz con cabina del tren y consisten de una serie de gráficas de las diferentes variables contra el tiempo.

Las variables que se miden son:

- Tensión en la línea.
- Tensión en los bornes del motor.
- Corriente en el tiristor principal.
- Velocidad del tren.
- Presión en el cilindro de freno.

Las pruebas tipo que se realizan son:

1. Pruebas de tracción.- En estas se comprueban las diferentes aceleraciones correspondientes a los diferentes grados de tracción. También se revisa el funcionamiento del puenteo de campo.
2. Pruebas de aceleración.- En estas se verifican las diferentes aceleraciones para marcha total.

3. Pruebas de frenado.- Estas pruebas se dividen en pruebas de frenado neumático y pruebas de frenado regenerativo.

3.1 Pruebas de frenado neumático.

Después de inhibir el frenado eléctrico se comprueban las desaceleraciones en función de una posición de frenado y de un valor de velocidad antes del frenado.

3.2 Pruebas de frenado regenerativo.

Estas se efectúan en dos partes que son:

- 1) Durante el día en horas pico (línea muy cargada).
- 2) Durante la noche en horas de servicio ligero (línea poco cargada).

En estas pruebas se revisan los valores de desaceleración en función del paso de frenado y la velocidad del tren antes del frenado. Las pruebas durante la noche tienen como objetivo probar la capacidad de efectuar un frenado regenerativo en una línea poco receptiva.

4. Pruebas de consumo de energía.- Los registros se llevan a cabo en secuencias de arranque, marcha libre y frenado, lo que permite calcular el consumo de energía del tren. Las pruebas se efectúan para diferentes secuencias de pasos de tracción y frenado.
5. Pruebas de resistencia al avance del tren.- Se comprueba que la desaceleración debida a la resistencia al avance se encuentra dentro de la tolerancia permitida.
6. Pilotaje.- El objetivo en esta prueba es verificar que el PA (pilota je automático) efectue correctamente las consignas de control.

Para la realización de las pruebas estáticas y dinámicas el tiempo necesario es de aproximadamente dos días y para las pruebas tipo de alrededor de 4 días. Necesitándose de un ingeniero y un técnico para la supervisión de las pruebas, así como de dos conductores para las pruebas tipo.

El trabajo ha realizar sobre una motriz dentro del taller requiere de cierto personal y de ciertos lugares apropiados para la transformación, resumiendo:

a) Personal necesario:

- Un ingeniero para supervisar la transformación.
- Tres técnicos electricistas para el cableado y el montaje del equipo.
- Dos trabajadores de paflería.

b) Necesidad en las posiciones de trabajo de la motriz.

1) Un lugar equipado con gatos hidráulicos "Descenso del equipo de tracción" (3 días).

2) Fosa para el cableado:

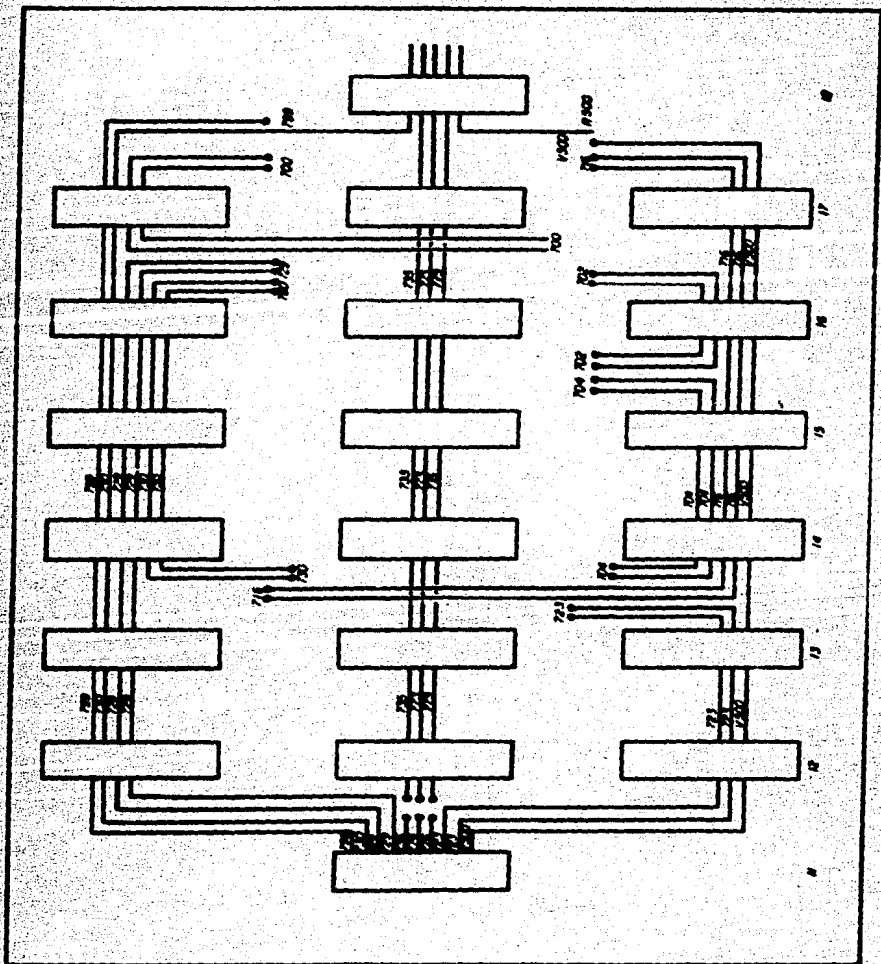
Descableado (3 días).

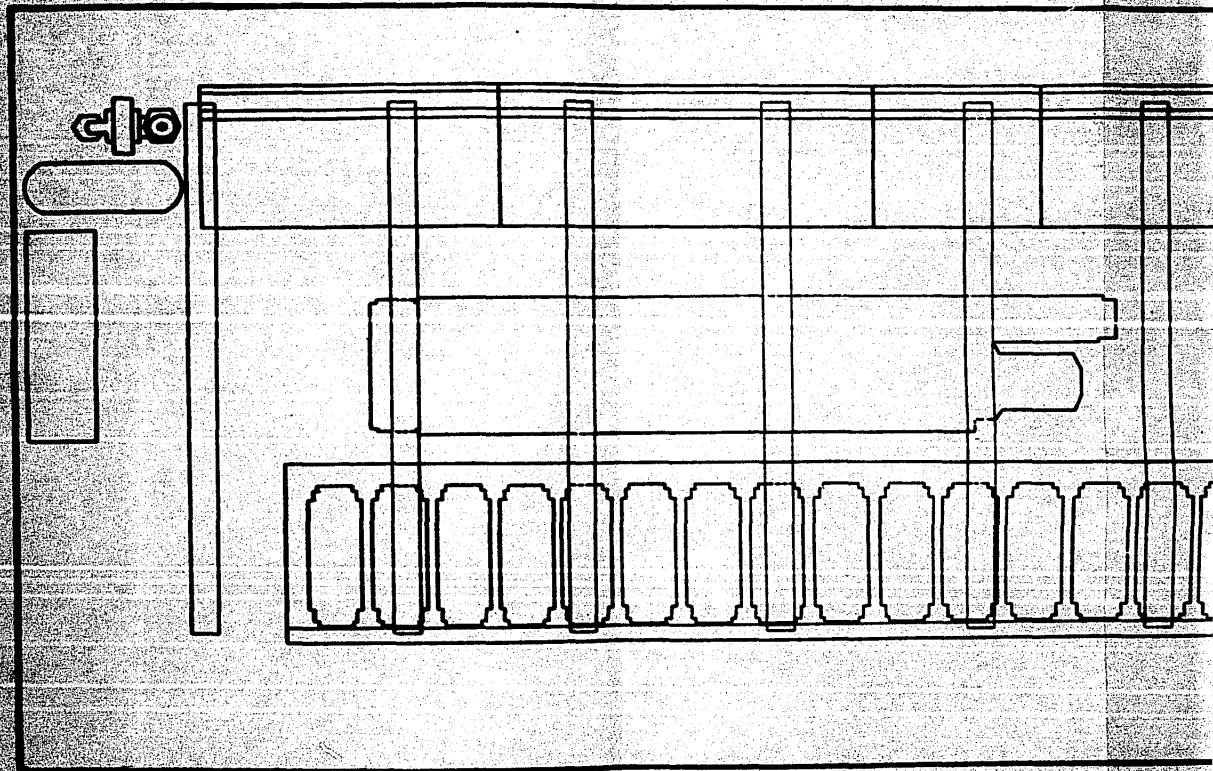
Recableado (6 y 1/2 días).

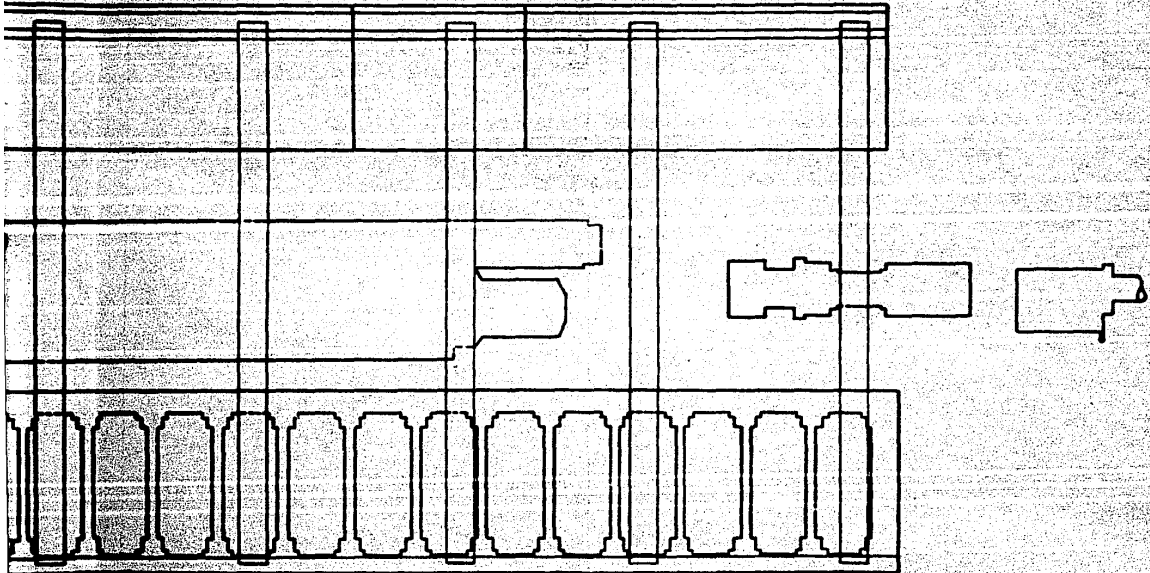
3) Gatos hidráulicos "Montaje del equipo" (13.5 días).

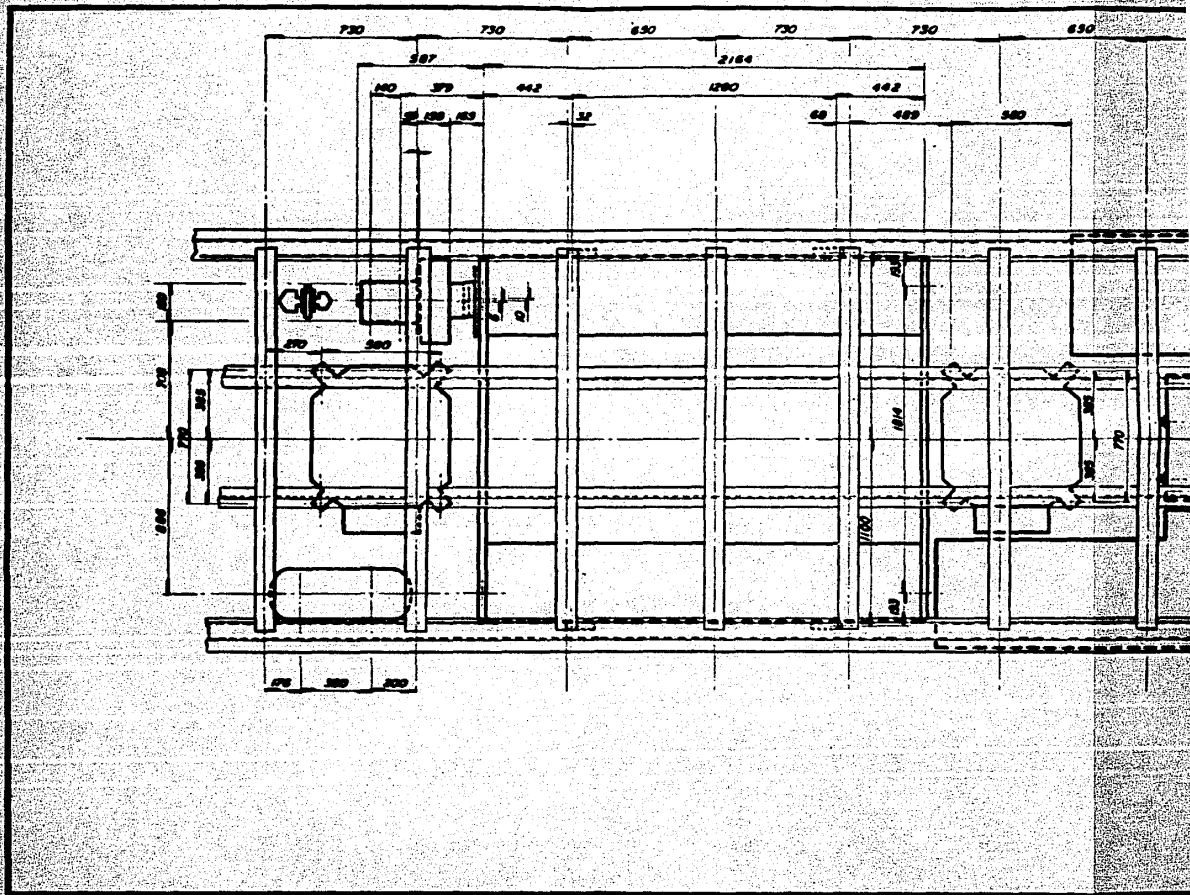
Tiempo total para la transformación de un carro 26 días.

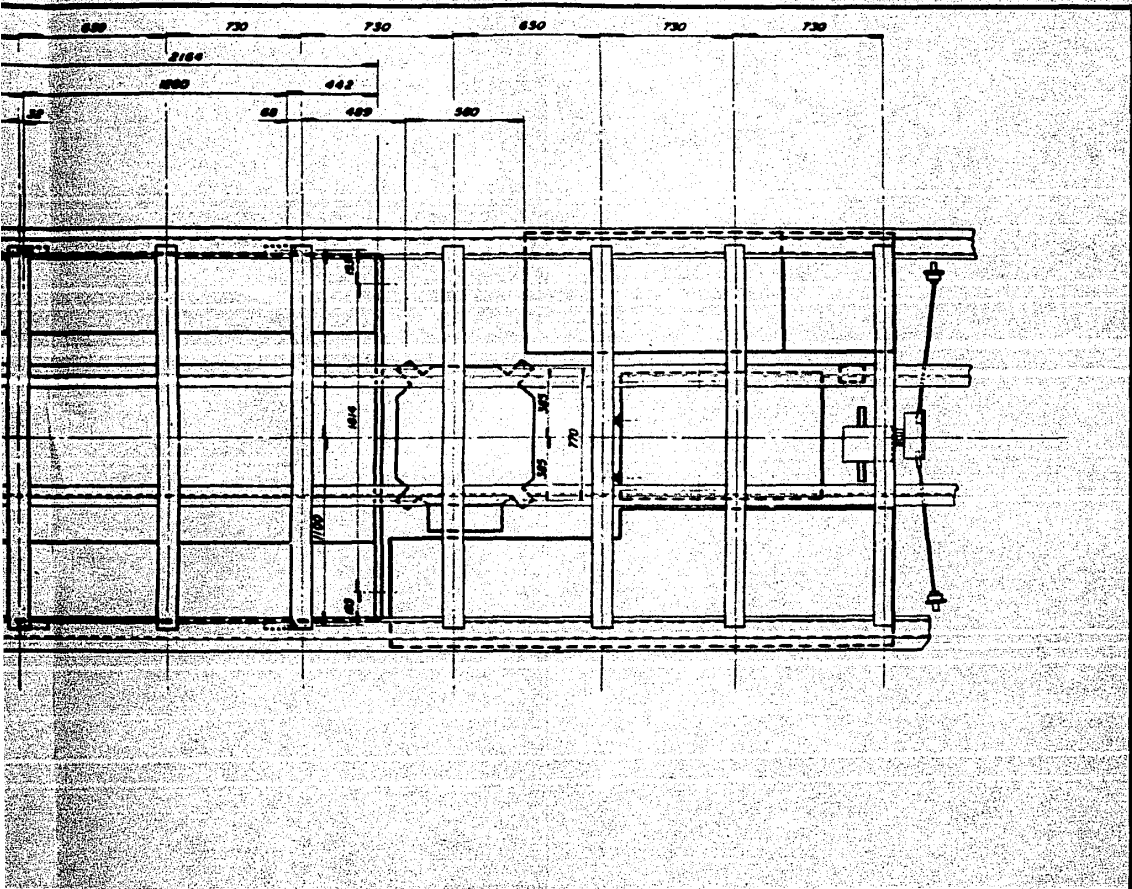
A continuación se presenta la disposición física de los elementos en el bajo chasis.











CAPITULO 7

ESTUDIO ECONOMICO DE LA TRANSFORMACION.

En el presente capítulo se realiza el estudio económico de la transformación, analizándose en primer lugar los costos directos, en seguida se tratan los costos de operación y por último se analizan las posibilidades dentro de los talleres del metro para la realización de la transformación.

El análisis económico de la transformación contempla los siguientes aspectos:

(A) Costos Directos de la transformación.

Incluye el costo del equipo a utilizarse, su integración, el cableado de alta y baja tensión, la fabricación de los cofres, el costo de la mano de obra y del trabajo especializado.

(B) Costos de operación.

Aquí se considera el costo que se proyecta para el mantenimiento del material y el costo de dar capacitación al personal para el mane-

je del mismo.

(C) Tiempos y disponibilidades.

Aquí se considera el espacio disponible en los talleres, el personal requerido para la transformación y la cantidad de trenes que pueden dejarse fuera de servicio sin afectar la operación en línea.

7.1 Costos de la Transformación.

(A) Costos directos.

Costo del equipo troceador NM73C-2G.

Caja NM 73C1

Contiene: Bloque de semiconductores.

Cantidad: 1.

Costo: \$7'300,000.

Caja NM73C2

Contiene: Bloque de semiconductores.

Cantidad: 1.

Costo: \$7'300,000.

Caja NM73C3

Contiene: Bloque de semiconductores.

Cantidad: 1.

Costo: \$7'300,000.

Caja NM73C4

Contiene: Bloque de semiconductores.

Cantidad: 1.

Costo: \$7'300,000.

Caja NM73C5

Contiene: Bloque de semiconductores.

Cantidad: 1.

Costo: \$7'300,000.

Caja NM73C6

Contiene: Bloque de semiconductores.

Cantidad: 1.

Costo: \$7'300,000.

Caja NM73C7

Contiene: Inductancia de alisamiento.

Fusible de tracción.

Resistencia de descarga rápida.

Capteur de presión.

Costos: \$ 1'160,000.

60,000.

120,000.

120,000.

respectivamente.

Cantidad: 6 de cada uno de los elementos.

Costo total: \$8'760,000.

Caja NM73C8

Contiene: Inductancia de filtro.

Contactador de descarga rápida.

Resistencia de puenteo.

Costos: \$ 800,000.

400,000.

80,000.

respectivamente.

Cantidad: 6

6

18

respectivamente.

Costo Total: \$8'640,000.

Costo total del equipo NM-73C-2G es de: \$61'200,000.

Para evaluar los costos de la transformación por concepto de mano de obra se consideran los siguientes elementos:

-Personal requerido para la transformación.

-Nivel del personal requerido.

-Tiempo utilizado en la transformación.

Durante la transformación será necesario la utilización del siguiente personal de manera permanente:

6 Técnicos electricistas	\$ 90,000.	(Salario mensual)
4 Técnicos de pailería	80,000.	" "
2 Ingenieros	120,000.	" "

El tiempo requerido para la transformación de una motriz en cada taller es de 25 días hábiles, si se considera que se transforman dos motrices al mismo tiempo, la transformación de un tren completo se realizaría en 78 días hábiles. Además de lo anterior existe un periodo de pruebas que tiene una duración de dos días (pruebas dinámicas) y que requiere del siguiente personal:

2 Conductores	\$ 90,000. (Salario mensual)
1 Técnico electricista	90,000. " "

Con los datos anteriores se puede obtener el costo de la transformación de cada tren por concepto de mano de obra (CTMO).

$$\text{CTMO} = tT[(\text{SDI} \cdot \text{NI}) + (\text{SDE} \cdot \text{NE}) + (\text{SDP} \cdot \text{NP})] + tP[(\text{SDC} \cdot \text{NC}) + (\text{SDE} \cdot \text{NE})]$$

En donde:

SDI = Sueldo por día de los ingenieros.

SDE = Sueldo por día de los técnicos electricistas.

SDP = Sueldo por día de los técnicos en pailería.

SDC = Sueldo por día de los conductores.

NI = Número de ingenieros.

NE = Número de técnicos electricistas

NP = Número de técnicos en pailería.

NC = Número de conductores.

tT = Tiempo de la transformación de un tren.

tP = Tiempo de pruebas.

Sustituyendo datos en la ecuación del CTMO tenemos:

$$\text{CTMO} = 78[(4,000)(2) + (3,000)(6,000) + (2,667)(4)] + 2[(3,000)(2) + (3,000)(1)]$$

$$\text{CTMO} = \$2'878,104.00$$

Para la obtención de los costos directos adicionales, se consideraron los siguientes aspectos:

-Cantidad de cable utilizado tanto para el cableado de alta tensión como para el cableado de baja tensión.

- Terminales y elementos de sujeción utilizados durante el cableado.
- Etiquetas de identificación para el cableado.
- Materiales utilizados en los trabajos de pailería.

De donde:

Costos directos adicionales por tren (CDAT) = \$ 1.107,750.

Por lo tanto:

Costos directos totales por tren = Costos del equipo + Costos
por mano de obra + Costos di
rectos adicionales.

Costos directos totales por tren = \$61'200,000 + 2'878,104. +
+ 1'107,750. = \$65'185.854.

(B) Costos de operación.

El mantenimiento para el equipo propuesto conserva la misma secuencia que para el equipo trocador Francés MP-82 es decir:

- Pruebas de entrada.
- Mantenimiento menor.

Inspección I

Inspección II

Inspección III

Rehabilitación.

Considerando lo anterior y que el mantenimiento realizado a estos equipos consiste básicamente en la limpieza y sopleando de sus partes no será necesario proporcionar una capacitación especial al personal encargado del mantenimiento.

Actualmente el personal del STC se encuentra capacitándose para poder realizar operaciones de mantenimiento mayor a los equipos trocador.

(C) **Tiempos y disponibilidades.**

Para la realización de la transformación el STC cuenta con dos talleres de Revisión General; Revisión General Zaragoza y Revisión General Ticomán. Dentro de cada uno de estos talleres el espacio dedicado para la transformación consistiría de dos fosas y dos lugares equipados con gatos hidráulicos con capacidades respectivas para un carro, ubicados dentro del área de trabajo designada para actividades de recableado y que cuenta con todas las instalaciones necesarias. Por otro lado, sería necesaria la adaptación de una mesa de trabajo para la realización de las operaciones separadas de la motriz y de un local para el almacenaje de los equipos.

En cada uno de los talleres se cuenta con el espacio suficiente en garage, así como la capacidad necesaria en vía de pruebas para el desarrollo de la transformación sin afectarse las actividades cotidianas del taller.

Con lo anterior se establece una capacidad de transformación para cada uno de los talleres de dos motrices simultáneas en un tiempo total de 26 días.

Con respecto al mantenimiento del servicio normal en línea, se considera que este no se vería afectado ya que la transformación sólo implicaría el disminuir la cantidad de trenes en reserva en un 3.7% (Actualmente se cuenta con 54 trenes en reserva).

De lo anterior se puede observar que el costo total de la transformación está determinado únicamente por sus costos directos, es decir:

Costo total de la transformación por tren (inv) = \$65'183,834.00

CAPITULO 8

DESCRIPCION GENERAL DEL EQUIPO A UTILIZARSE.

En el presente capítulo se hace la descripción técnica del equipo propuesto para la transformación, concretamente el equipo NM 73-2G. En primer lugar se describen las características del equipo, enseguida las características de los elementos de éste. Finalmente se hace un breve comentario sobre la mexicanización de las partes.

8.1 *El trocador y sus características.*

El equipo de acondicionamiento de energía propuesto para la transformación es de conmutación tipo "dura", explicada en el capítulo 5, control de corriente inicial de arranque por segunda inversión y dos modos de conducción, una sola fase, una frecuencia de 600 Hertz, con reducción de campo para mejorar las características de velocidad con base en contactores electromagnéticos y resistores, al cambio de topología de tracción a frenado se lleva a cabo por medio de semiconductores y el trocador se encuentra eléc-

tricamente conectado antes que los motores. En cuanto a las innovaciones del equipo propuesto: se utilizan semiconductores de potencia de gran velocidad y capacidad, por lo que el elemento de conmutación principal, consiste de un solo tiristor, el de inversión consta también de un solo tiristor y el elemento de apagado de dos.

El filtro de entrada al circuito es de dos polos y su frecuencia de corte se encuentra a 75[Hz].

El equipo de segunda generación tiene su lógica de control apoyada en el microprocesador 68000, sin embargo se apunta la posibilidad de utilizar solo lógica cableada.

En cuanto al enfriamiento de los semiconductores y otros elementos, este se da por ventilación forzada.

El conmutador de inversión tiene un accionamiento neumático.

3.2 Características de los elementos que constituyen el equipo.

Los semiconductores de potencia.

El tiristor principal o de marcha (TYMR) tiene como características eléctricas principales:

- Tensión inversa de bloqueo: 2,200 [V].
- Corriente pico de estado encendido: 20 [kA].
- Tiempo de apagado (t_q): 55 [μ s].
- Velocidad máxima de aplicación de tensión en inversa: 300 [V/ μ s].
- Velocidad máxima de crecimiento de corriente de conducción directa: 300 [A/ μ s].

Los tiristores de primera y segunda inversión de carga del capacitor tienen las mismas características eléctricas, están constituidos por un solo tiristor con las siguientes características:

- Tensión de bloqueo inversa repetitiva: 2800 [V].
- Corriente de conducción directa pico: 17[kA].
- Tiempo de apagado (t_q): 200 [µs].
- Velocidad máxima de reaplicación de tensión directa: 300 [V/µs].
- Crecimiento máximo de corriente de conducción directa: 300 [A/µs].

El elemento de extinción del tiristor principal (TR.AE) tiene dos elementos en serie con las siguientes características:

- Tensión de bloqueo inversa repetitiva: 2200 [V].
- Corriente de conducción directa de pico: 8[kA].
- Tiempo de apagado (t_q): 200 [µs].
- Velocidad máxima de reaplicación de tensión directa: 300 [V/µs].
- Crecimiento máximo de corriente de conducción directa: 300 [A/µs].

El conmutador tracción frenado tiene cuatro tiristores iguales y con las siguientes características cada uno:

- Tensión de bloqueo inversa repetitiva: 2000 [V].
- Corriente de conducción directa de pico: 15 [kA].
- Tiempo de apagado (t_q): 400 [µs].
- Velocidad máxima de reaplicación de tensión directa: 200 [V/µs].
- Crecimiento máximo de corriente de conducción de tensión directa: 200 [A/µs].

El diodo de rueda libre tiene las siguientes características:

- El pico inverso de voltaje: 3600 [V].
- Corriente media: 1600 [A].
- Tiempo de recuperación: 8 [µs].

El conmutador tracción frenado tiene cuatro diodos con las siguientes características:

- Voltaje pico inverso: 2100 [A].
- Corriente media: 1300 [A].

Para otras especificaciones de los semiconductores consultase el anexo C.

Inductores.

Las características técnicas del inductor de alisado son:

- Inductancia: 1 [mH].
- Frecuencia de operación: 600 [Hz].
- Corriente efectiva: 800 [A].
- Nivel de aislamiento: 4 [kV].
- Núcleo de aire con el eje de flujo vertical.
- Peso: 205 [kg].
- Alisado: 14.5X

El inductor del filtro presenta las siguientes características:

- Inductancia: 0.75 [mH].
- Frecuencia de operación: 600 [Hz].
- Corriente efectiva: 565 [A].
- Nivel de aislamiento: 4 [KV].
- Núcleo de aire con el eje de flujo vertical.
- Peso: 185 [kg].

El resto de los inductores a continuación descritos, son de núcleo saturable.

Inductor auxiliar de marcha (LAX.MR):

- Inductancia: $8 \pm 0.5\%$ [μH].
- Resistencia a 20°C : $0.00044 \pm 5\%$ [Ω].
- Corriente eficaz nominal: 1250 [A].
- Potencia máxima disipada: 1800 [W].
- Frecuencia de operación: 600 [Hz].
- Aislamiento clase H.

Inductor auxiliar de paro (LAX.AE), este inductor es la protección contra sobrecorrientes de los tiristores de extinción.

- Inductancia: 8 ± 0.3 [μH].
- Resistencia a 20°C : $0.000535 \pm 5\%$ [Ω].
- Corriente eficaz: 435 [A].
- Potencia máxima disipada: 160 [W].
- Frecuencia de operación: 600 [Hz].
- Aislamiento clase H.

Inductor auxiliar de inversión (LAX.IV). Este inductor es el que invierte la tensión en el capacitor de extinción y protege al tiristor de inversión correspondiente de un di/dt dañino.

- Inductancia: 27.5 ± 1 [μH].
- Resistencia a 20°C : $0.00196 \pm 5\%$ [Ω].
- Corriente eficaz: 655 [A].
- Potencia máxima disipada: 1200 [W].
- Frecuencia de operación: 600 [Hz].
- Aislamiento clase H.

Inductor auxiliar de retorno (LAX-RT). forma parte también del circuito de resonancia LC del circuito de apagado y provee protección contra di/dt para el tiristor de inversión correspondiente:

- Inductancia $13.5 \pm .6$ [μH].
- Resistencia a 20°C: $0.00089 \pm 5\%$ [Ω].
- Corriente eficaz: 755 [A].
- Potencia máxima disipada: 750 [W].
- Frecuencia de operación: 600 [Hz].
- Aislamiento clase H.

Para todos los inductores la ventilación se da por convección natural.

Capacitores.

Capacitor del filtro. La capacitancia del filtro se forma con un banco de 3 capacitores en paralelo:

- Capacidad total: $6 \pm 10\%$ [μF].
- Tensión de servicio 900 Volts con ondulación de 72 [V].
- Frecuencia: 600 [Hz].
- Corriente eficaz: 530 [A].
- Temperatura ambiente máxima 40°C.
- Criterio de fin de vida: variación de la capacitancia inferior a 20%.

Capacitor de extinción (CA-AE). La capacitancia de extinción está formada por un banco de 4 capacitores en paralelo:

- Capacidad total: $120 \pm 5\%$ [μF].
- Tensión de servicio: 2700 [V] pico a pico.
- Frecuencia de operación: 600 [Hz].

- Temperatura ambiente máxima 40°C.
- Utilización: 10% en el primer modo de conducción y 90% en el segundo modo.

Resistores

A continuación se presentan las características de los resistores que forman parte del equipo.

La resistencia de precarga del filtro está compuesta por cuatro resistencias conectadas en paralelo de 1600 ohms cada una, por lo que la resistencia total es de 400 ohms.

La resistencia de descarga rápida del filtro consiste de un resistor de $220 \pm 5\% [\Omega]$.

Existe una resistencia de descarga lenta del filtro del orden de 5.6 [k Ω].

Se cuenta con dos resistencias de puenteo de campo permanente (RE.SH.PE1 y RE.SH.PE2), ambas iguales y con un valor de 750 [m Ω].

Para el primer puenteo se tiene dos resistores (RE.SH.A1 y RE.SH.A2) iguales y con una resistencia de $75.7 \pm 7\%$ miliohms cada uno. En el segundo puenteo actúan otros dos resistores (RE.SH.B1) y (RE.SH.B2) con una resistencia de $43.85 \pm 7\%$ miliohms cada uno.

Contactores

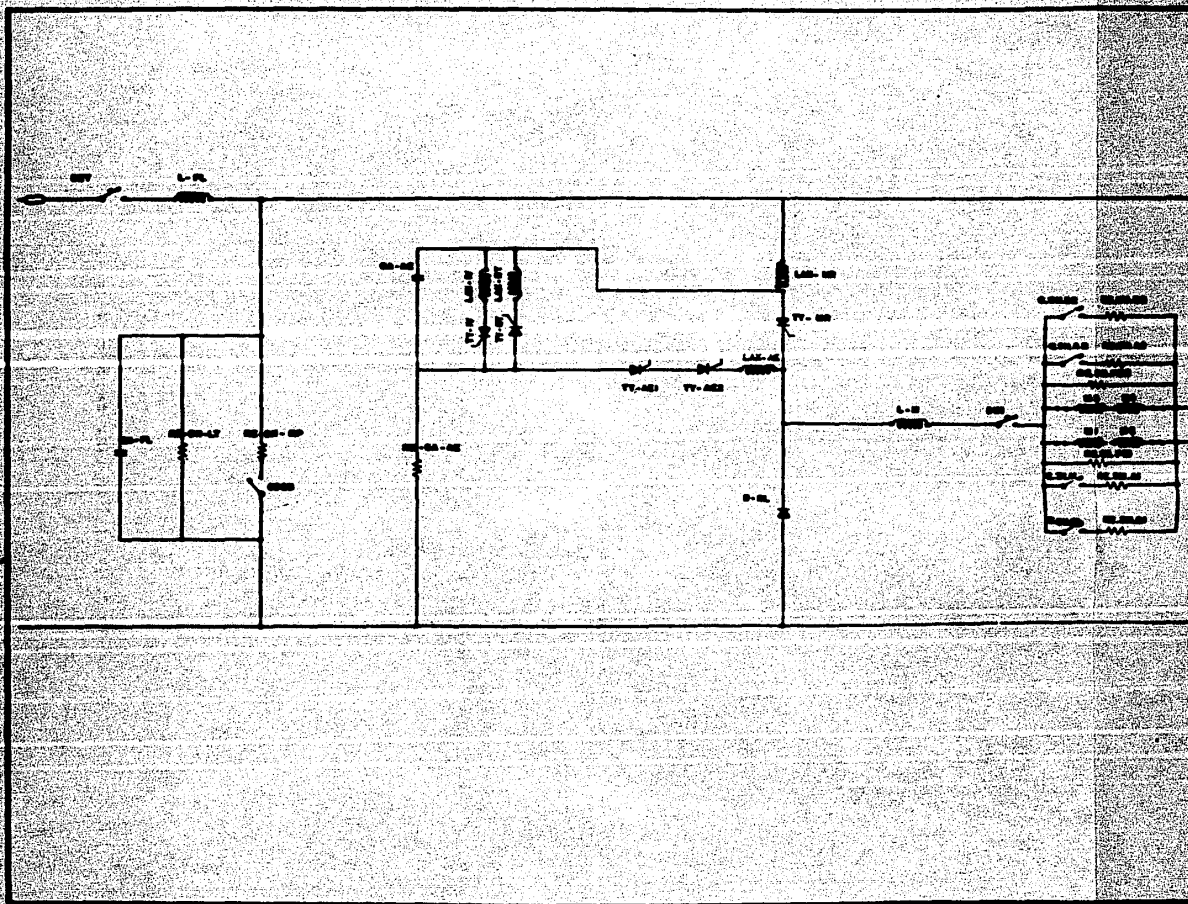
Los siguientes elementos del equipo a analizar son los contactores:

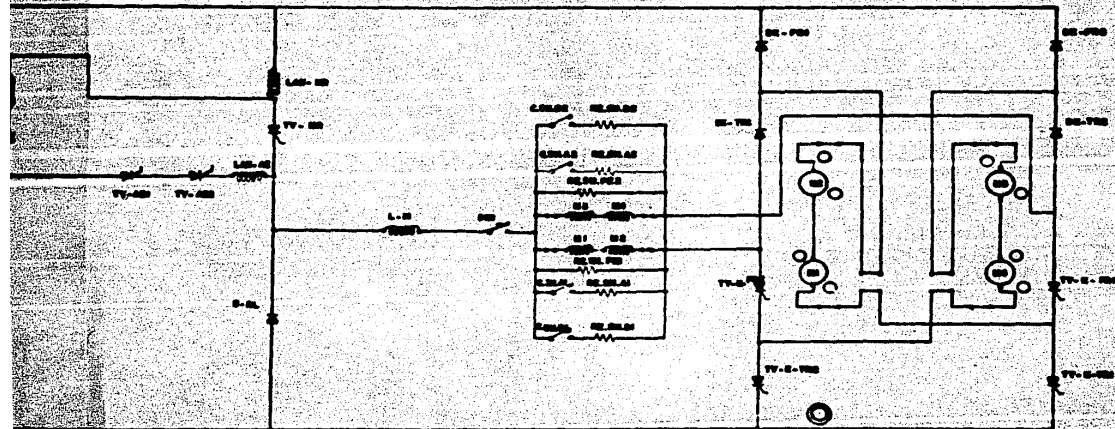
Contactores de puenteo (CSHA.1, CSHA.2, CSBH.1, CSBH.2):

- Contactor electromagnético bipolar.
- Para los polos principales:
 - Tensión de aislamiento de 500 a 900 [V].
 - Corriente nominal: 260 [A].
 - Tiempo de maniobra: 50 [ms] para 260 [A] a 7 [V].
 - 6 75 [ms] para 260 [A] a 3.5 [V].
 - Funcionamiento nominal, apertura y cierre bajo carga: dos veces por minuto.
- Para los contactores auxiliares:
 - Consisten de dos contactos de trabajo.
 - Tensión nominal: 72 [V] pudiendo variar de 50 a 90 [V].
 - Corriente nominal: 0.5 [A].
 - Tiempo de maniobra: 15 [ms] a 0.5 [A] y 90 [V].
- Para la bobina:
 - Tensión de alimentación 72 [V], variable de 50 a 90 [V].
 - Consumo máximo: 1 [A].

Material necesario para cableaje de alta tensión (AT) y baja tensión (BT):**Para una motriz:****Cables AT (1500 SH):**

- Sección 95^2 : 164 [m].
- Sección 2.5^2 : 245 [m].
- Sección 10^2 : 20 [m].





Cables BT 230 SUIG o equivalente:

Sección 1^2 (6 0.75^2): 900 m.

Sección 2.5^2 : 80 m.

Sección 2×1^2 blindado: 250 m.

Tipo 800 SGRP o equivalente.

Terminales para cable AT:

Terminales para cables 95^2 tornillos M12:	6+2 reservas = 8
Terminales para cables 95^2 tornillos M10:	28+4 reservas = 32
Terminales para cables 95^2 tornillos M8:	24+4 reservas = 28
Terminales para cables 10^2 tornillos M8:	1+1 reserva = 2
Terminales para cables 10^2 tornillos M5:	1+1 reserva = 2
Terminales para cables 10^2 tornillos M4:	2+2 reservas = 4
Terminales para cables 10^2 tornillos M10:	2+2 reservas = 4
Terminales para cables 2.5 tornillos M8:	2+2 reservas = 4
Terminales para cables 2.5 tornillos M6:	1+1 reservas = 2
Terminales para cables 2.5 tornillos M4:	15+3 reservas = 18

TOTAL 114 terminales.

Para mayor información sobre el cableado, consultar el anexo C.

8.3 Mexicanización.

Como se ha visto en los últimos tiempos el factor tecnológico tiene un papel muy importante dentro de las relaciones de dependencia económica de los países subdesarrollados. Esta dependencia no se ve solo en el pago que se hace por la tecnología importada, sino en que se fortalece una estructura de subordinación en la cual la tecnología actúa como un instrumento de con-

rol de los medios mediante los cuales se ejerce la dominación.

Así pues, el propósito de la mexicanización del equipo sería, por un lado evitar la sangría económica al país debida a la salida de divisas, esto es de los excedentes de la producción y por otro lado fortalecer la independencia económica y tecnológica.

Uno de los aspectos importantes que propician la dependencia tecnológica es la falta de nexos entre la innovación tecnológica y los factores de producción locales. Se hace, pues, necesario dividir primero al equipo en función de la posibilidad de mexicanización: se establecen entonces tres niveles tecnológicos elementales: en el primer nivel se encontrarán aquellos componentes para los cuales se cuenta ya con una industria con la capacidad y experiencia probadas, como sería el caso de la fabricación de los cofres, soportes, fijaciones, cables. En un segundo nivel se encuentra la tecnología para la cual existe la posibilidad de mexicanización dado que existen las industrias con la capacidad suficiente, como sería el caso de la fabricación de contactores, inductores, resistores, capacitores y ventiladores. El último nivel lo componen aquellos elementos para los cuales no se cuentan, ni a mediano ni a largo plazo, con una base tecnológica e industrial adecuada, este sería el caso de los semiconductores, microprocesadores y lógica cableada.

Existen dos medios de progreso tecnológico, uno de ellos se basa en una fuerte inversión para la investigación para seguir el proceso de invención, innovación y difusión de la tecnología; el otro se basa en los cambios graduales de planta, esto es en las soluciones prácticas, que aunque menos drástico que el primer método, no es menos importante. Este último método

es el que parece adecuado para el proceso de mexicanización, que correspon-
da a una estrategia defensiva, esto es que no busca ser líder en esa tecno-
logía sino no quedar rezagados en cuanto a los demás. Así pues la transfor-
mación gradual del equipo permite la mexicanización progresiva, a través de
los niveles tecnológicos mencionados, integrando las partes de fabricación
nacional a los bloques importados ya descritos en el anterior subcapítulo,
con lo que el aprendizaje e integración de esta tecnología se daría de - -
acuerdo al modelo técnico de "aprender haciendo" y no de "aprender gastan-
do".

CAPITULO 9

COMPARACION

En el primer subcapítulo se hace la comparación económica de la transformación. Se exponen las consideraciones asumidas, se explica la naturaleza del modelo económico planteado; para finalmente obtener los resultados de la evaluación.

Para el segundo subcapítulo se proporciona un comentario sobre el aspecto de la confiabilidad de los equipos estudiados.

9.1 Comparación Económica.

Las consideraciones al análisis a continuación propuesto son las siguientes: por salir del contexto del trabajo se toma como idénticos los factores de inflación y cambio de valor por desarrollo tecnológico para el equipo de contactores y el de semiconductores, a lo largo del horizonte de evaluación. Esto se justifica por la impracticidad al estimar estos

factores. Todos los valores monetarios con los que se trabaja están en pesos mexicanos de diciembre de 1985.

De acuerdo al capítulo 7 el tiempo de transformación estimado para todo el material reostático es de aproximadamente 17 años, el cual se tomará como horizonte de evaluación. Este lapso es mínimo a la transformación y máximo a la vida útil de los equipos reostáticos.

El modelo para evaluar tiene una naturaleza incremental en el tiempo. La alternativa a no transformar el equipo se evalúa en forma simplificada de la siguiente manera: costo de operación por tren por año para los JH (capítulo 3) multiplicado por el número de trenes (99*) por el número de años del horizonte. El modelo para evaluar la transformación debe tomar en cuenta que durante el horizonte operarán un número progresivamente menor de trenes con el equipo viejo y un número cada vez mayor de trenes operando con trocador de manera tal que la suma de trenes operando con JH y con trocador es constante para cada año. El modelo se analiza en tres componentes:

- a) El costo decreciente de la operación del material JH.
- b) El costo creciente de operación del material trocador.
- c) El costo de adquisición del equipo.

Métese que aquí no se toma en consideración para el modelo de evaluación, la ventaja económica que supone que a cada transformación se obtendrían más piezas de recambio para los equipos por transformarse.

* Se consideran todos los trenes equipados con JH, esto es, los MP-68 y los MP-73A.

La componente (a) del modelo se desarrolla de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} & (OPJH)\Delta t(N-1) + (OPJH)\Delta t(N-2) + \dots + (OPJH)\Delta t(N-N) = \\ & OPJH[(N-1) + (N-2) + \dots + (N-N)]\Delta t = \\ & OPJH \left\{ \frac{(N-1)N}{2} \right\} \Delta t \end{aligned}$$

La componente (b) es:

$$\begin{aligned} & (OPTR)\Delta t(1) + (OPTR)\Delta t(2) + \dots + (OPTR)\Delta t(N) = \\ & OPTR(1+2+\dots+N)\Delta t = \\ & OPTR \left\{ \frac{N(N+1)}{2} \right\} \Delta t \end{aligned}$$

La componente (c) será simplemente:

$$N(inv)$$

donde:

OPJH: es el costo anual de operación del JH (capítulo 3)

OPTR: es el costo anual de operación del troceador (capítulo 5)

N: es el número de trenes a transformar

Δt : es un factor que relaciona el tiempo relativo a transformar un vagón del tren por el número de vagones por tren al tiempo de días hábiles para la transformación al año, esto es el inverso de la velocidad de transformación en trenes/año y se calcula de la siguiente manera:

$$\Delta t = \frac{\frac{\text{días}}{\text{vagón}} \cdot \frac{\text{vagón}}{\text{tren}}}{\frac{\text{días}}{\text{año}}} = \frac{\text{año}}{\text{tren}}$$

donde:

$$\frac{\text{días}}{\text{vagón}} = 26 \text{ días (del capítulo 7)}$$

$$\frac{\text{vagón}}{\text{trón}} = 6 \text{ (motrices)}$$

$$\frac{\text{días}}{\text{año}} = \text{se toma como 240 días hábiles por año.}$$

inv: es el costo de adquisición e instalación del equipo procesador (capítulo 7).

El modelo de la alternativa es

$$OPJH \cdot n \cdot N$$

donde:

OPJH y N ya se definieron anteriormente y

n: es el número de años del horizonte.

Calculando Δt

$$\Delta t = \frac{26(6)}{240} = 0.65$$

Ahora bien el resultado se divide entre 4, debido a que se consideran dos talleres y dos motrices simultáneas para la transformación.

Por lo tanto

$$\Delta t = \frac{0.65}{4} = 0.1625$$

Calculando la componente (a)

se toma N = 99 tranes.

$$a = 84,484,202.40 \frac{(99-1)99}{2} 0.1625 = 66.6582 \times 10^{10}$$

a = 66,582 millones de pesos

Calculando la componente (b)

$$b = 42,580,652.72 \frac{99(99+1)}{2} 0.1625 = \$ 3.425 \times 10^{10}$$

b = 34,250 millones de pesos

Calculando la componente (c)

$$c = 99(63,185,854.00) = \$ 6.4534 \times 10^9$$

c = 6,453.4 millones de pesos

Sumando las tres componentes nos da el costo total de la transformación de todos los trenes en 17 años.

$$a+b+c = \$6.6582 \times 10^{10} + \$ 3.425 \times 10^{10} + \$6.4533 \times 10^9$$

$$a+b+c = \$1.0728 \times 10^{11}$$

a+b+c = 107,280 millones de pesos.

Si no se transforma el equipo JH, el costo de mantener durante 17 años sería:

$$\begin{aligned} N \cdot n \cdot OPJH &= 99(17)(84,464,202.40) = 1.4215 \times 10^{11} \\ &= 142,150 \text{ millones de pesos} \end{aligned}$$

La ventaja económica si se hace la transformación sería de:

$$\text{ventaja} = 142,150 \times 10^6 - 107,280 \times 10^6 = 34,870 \times 10^6$$

ventaja = 34,870 millones millones de pesos.

9.2 Confiabilidad

La confiabilidad representa en términos generales la probabilidad de buen funcionamiento y para un sistema dependerá de cuestiones tales como el diseño, la calidad de componentes, la eficiencia, la calidad de mantenimiento. Así la confiabilidad presentará problemas para diseño y producción si

se desea que sea alta y dificultades y esfuerzo para mantenimiento si es que es baja. Para los usuarios una baja confiabilidad significará que el servicio sea engorroso, congestionado y lento.

En general se podrán dividir los factores que afectan la confiabilidad de un sistema en dos categorías: las anteriores al uso (o realización del valor-uso) y las de uso u operación. Así, dentro de la primera categoría, en cuanto al diseño es evidente que requiere de un mayor esfuerzo para mejorar la confiabilidad para un mismo bien, reflejándose en el momento de adquirirlo. La calidad de los componentes del sistema también son factor de la primera categoría. Por otro lado la eficiencia del sistema afecta su confiabilidad durante la operación, en efecto mientras mayor sea la cantidad de energía que permanece en el sistema con respecto a la que está en tránsito (menor eficiencia) mayor es la posibilidad de fallas (aumento de temperatura, desgaste por fricción, arcos eléctricos, etc.). Para un sistema de baja confiabilidad en operación la intensidad y/o calidad del mantenimiento deben ser altos ya que el preventivo será continuo o las fallas en servicio (correctivo) serán muchas.

A las categorías mencionadas se les pueden asociar costos, de manera que a la primera quedan asociados los costos de adquisición y a la segunda costos de operación.

Estos costos varían con la confiabilidad de la siguiente manera: el costo de adquisición aumenta conforme aumenta la confiabilidad del sistema (mayor esfuerzo de diseño, mejor calidad de componentes), mientras que el de operación disminuye con el aumento de la confiabilidad (mejor eficiencia implica menor cantidad de energía suministrada, mejor productividad de mano

de obra por menos fallas y mantenimiento menos frecuente). Así dibujadas estas tendencias (fig. 9.1) se puede ver que existirá una cierta confiabilidad en la que el costo total será mínimo.

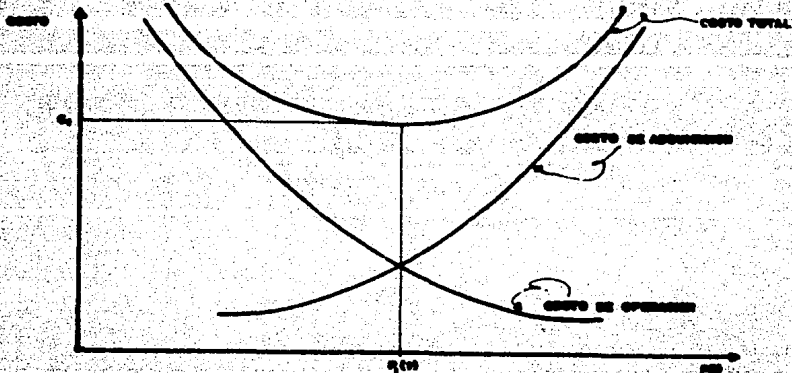


Figura 9.1

Al tomarse en cuenta que los equipos de tracción que se discuten en los que uno es sustitución del otro tienen naturalezas distintas hace que esta representación continua no sea del todo exacta sin embargo se puede efectuar una aproximación.

El costo de adquisición de un equipo o material combinador electromecánico de resistores es de alrededor de 89 a 92% del de un troceador (referencia de los manuales de Bombardier) y como ya se vio el costo de operación del

equipo troceador es menor que el del combinador (conclusiones) por lo que se esperaba que el troceador se encontrara a la derecha del combinador en la representación gráfica de la fig. 9.1, esto es: tuviera una mejor confiabilidad.

Esto es cierto si se examina la siguiente información.

En las tablas del libro "Fundamentals of Reliability Theory" de O. M. Polvko, se indica la confiabilidad de algunos elementos electromecánicos:

Elemento	Confiabilidad (fallas en 10^6 horas)
Contactores	0.5
"Switches"	0.2
"Circuit-breakers"	0.8

En el manual "Reliability Prediction of Electronic Equipment" siguiendo el procedimiento de cálculo (dicho procedimiento se presenta en el anexo D) se puede ver que la confiabilidad de un tiristor del tipo que se emplea en el equipo propuesto es de 0.0065 fallas en 10^6 horas.

Aunque estos términos no son directamente comparables dan una idea con respecto al elemento principal de cada tipo de acondicionador de energía.

En cuanto a materiales completos se tiene la información del documento "Fallas presentadas por material" de cada mes. En estos concentrados se presenta el total de fallas, sin embargo como ya se ha visto tanto las diferencias entre trenes de distinto material, como el grueso de las fallas presentadas están en el equipo acondicionador de energía por lo que estos datos se pueden tomar "tal cual" como representativos. Otros factores que afectan

esta información son los siguientes: cada conjunto de material del mismo tipo está sometido a un conjunto de condiciones de operación similares ya que cada línea está asociada a un taller en el que se encuentra el personal y herramienta específicos para el material que opera en ella. La evolución del sistema de transporte provoca cambios a los que se ajusta el material rodante (con algún retraso) esto es: si algún tipo de tren resulta poco confiable se le acomodará en las líneas con carga ligera para mejorar su operación. Afecta también a esta información, factores tales como los esfuerzos extraordinarios por parte del personal para mejorar la calidad del mantenimiento, externos como la calidad y cantidad de partes de recambio disponibles e inclusive condiciones como el clima.

Después de la observación de los datos se puede ver que a pesar de los factores expuestos existe una cierta tendencia en ellos. Aparte de la exposición directa de los datos se hará una ligera manipulación de ellos para mostrarlos en funciones convencionalmente usadas en las teorías de confiabilidad. Para esto se harán algunas suposiciones elementales para poner la información en función del tiempo.

Los datos están en kilómetros recorridos por el conjunto del material en un mes, entre las fallas presentadas por el materia ese mes. A partir de los datos de la red se puede definir una velocidad media de período largo de la siguiente manera:

$$VMPL = \frac{\text{recorrido anual medio}}{(\text{días del año})(\text{horas al día})}$$

esta velocidad es en realidad un factor de conversión para anotar los datos en fallas por unidad de tiempo (hr).

Con estos datos podemos establecer el ya clásico modelo de supervivencia exponencial que aunque no esté plenamente respaldado por falta de información resulta ilustrativo en cuanto a representación gráfica.

El índice de supervivencia será:

$$S = \exp \left(- \frac{t}{MTTF} \right)$$

donde:

MTTF es el tiempo medio a falla (Mean Time To Fail)

Este MTTF se obtiene a partir de la tabla de "Fiabilidad del Material Rodante, por material, 1984", (y la de 1985) dividiendo entre la VMPL que queda como:

Recorrido anual medio = 110,000 km (este dato se obtuvo del "Documento Técnico de Datos Generales" de STC.

por tanto:

$$VMPL = \frac{110,000}{(365)(24)} = 12.7 \text{ km/hr}$$

de manera que la tabla de MTTF por material queda como en la figura 9.2.

Agrupando los materiales en tres grupos (por cuestiones estadísticas) y eligiendo los valores mayores y menores para cada grupo tendríamos

MP-68, NM-73	32.53 a 76.22
NM-79	91.81 a 160.5
MP-82, NC-82	124.17 a 376.6

(Mótese que no se incluyen los datos del NM-83 que por ser de reciente adquisición no se encuentran completos).

Con lo que obtenemos las siguientes representaciones gráficas: (figura 9.3), a partir del modelo.

Con lo que se muestra las diferencias en confiabilidad por material.

Así al ser más económico el troceador a final del periodo considerado y más confiable que el combinador electromecánico de resistores se puede afirmar que no solo se encuentra el troceador a la derecha del combinador sino que más cerca del mínimo de costo.

Con lo que obtenemos las siguientes representaciones gráficas: (figura 9.3), a partir del modelo.

Con lo que se muestra las diferencias en confiabilidad por material.

Así al ser más económico el troceador a final del periodo considerado y más confiable que el combinador electromecánico de resistores se puede afirmar que no solo se encuentra el troceador a la derecha del combinador sino que más cerca del mínimo de costo.

Fiabilidad del material rodante (kms. recorridos/talla)

MATERIAL	E	F	M	A	M	J	J	A	S	D	N	D	E	F	M
99-68	461	441	456	413	611	721	512	704	454	752	751	213	799	923	778
99-73	606	575	725	709	742	556	859	915	715	797	721	264	665	529	666
99-75	1836	1807	1156	1760	1335	1949	2036	1624	1485	1752	2028	1841	1638	1530	1633
99-82	1577	2043	1745	1421	1705	3541	2277	2473	3157	2232	2499	1474	2312	1558	1637
99-81	2219	2454	4270	2465	3214	2453	4753	4127	3091	3594	2710	2164	2694	2167	2044
99-83										1153	168	1673	1366	1779	1678

MTTF

MATERIAL	E	F	M	A	M	J	J	A	S	D	N	D	E	F	M
99-68	24.7	27.72	24.07	22.52	42.11	56.77	41.20	55.32	70.33	34.49	24.21	26.17	22.91	22.12	21.72
99-73	27.22	25.51	27.17	25.32	53.43	67.49	27.25	72.12	26.3	24.75	26.77	24.21	27.25	24.17	24.22
99-75	125.4	117.3	91.21	107.3	104.2	126.2	140.4	116.4	121	122.5	142	144.7	124.1	122.3	122.3
99-82	124.1	161.2	124.1	125.4	121.2	178.3	123	172.2	123.5	131.2	124.2	125.2	122.3	122.3	127.3
99-81	221.3	270.6	324.2	144.1	121.1	272.4	276.6	227.3	222.3	223.3	121.1	270.4	122.6	177.3	162.3
99-83										22.25	76.22	222.22	146.3	124.21	122

Figura 9.2

Fiabilidad del material rodante (kms. recorridos/talla)

MATERIAL	E	F	R	A	M	J	J	A	S	S	N	D	E	F	R
AP-68	461	341	436	413	611	721	512	709	694	752	751	815	799	925	779
AP-70	506	575	725	709	742	356	858	905	715	797	721	384	263	315	465
AP-79	1836	1407	1169	1760	1595	1969	2078	1921	1455	1752	1005	1162	1578	1550	1699
AP-82	1577	2049	2765	2451	2703	3341	2177	1977	2127	2702	1499	1479	2222	2892	1537
AP-83	3219	3454	4270	3465	3316	3459	4735	4157	3091	2851	1500	2164	1603	2232	2099
AP-85										1103	948	1671	1266	1779	1375

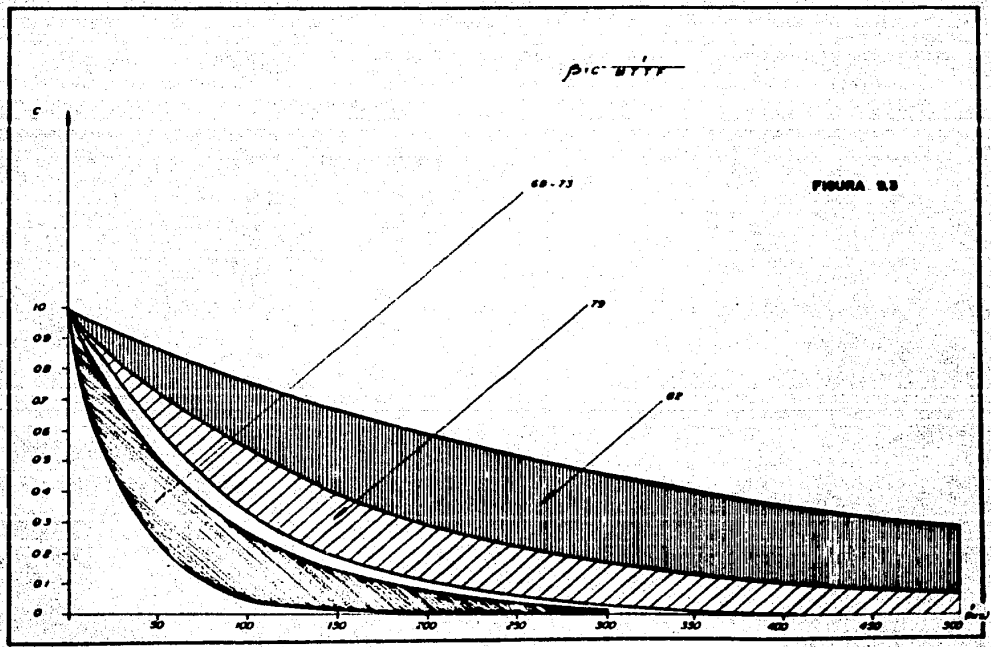
MTIF

MATERIAL	E	F	R	A	M	J	J	A	S	S	N	D	E	F	R
AP-68	31.7	37.72	34.37	32.52	42.11	52.77	41.39	55.97	50.74	54.69	54.21	54.17	42.91	72.46	47.74
AP-70	47.72	45.81	57.17	55.55	55.40	67.69	47.56	72.33	56.3	61.76	52.77	49.41	47.95	44.17	54.22
AP-79	129.6	110.5	91.31	107.2	109.2	154.2	140.5	140.6	116.7	138	104.5	115	131.7	134.1	152.9
AP-82	114.1	141.7	191.1	195.4	192.8	276.3	155	156.4	148.6	161.7	104.9	105.3	136.7	182.4	107.6
AP-83	254.3	278.6	326.2	244.1	241.1	272.4	376.6	317.3	221.1	227.1	101.1	174.4	126.6	178.3	167.6
AP-85										110.3	79.22	122.22	104.7	140.1	110.4

Figura 9.2

pic. 2777

FIGURA 2.3



CONCLUSIONES

La conclusión más importante es la de que tanto en el aspecto técnico como en el económico la transformación del equipo resulta favorable.

En el aspecto técnico se ha visto como el equipo troceador es más eficiente, ya que mientras que en el combinador de resistores el control se basa en el desvío de energía hacia elementos disipativos, en cambio en el troceador se realiza por una modulación de energía al utilizar elementos de conmutación rápida (semiconductores), además de que se tiene la posibilidad de regeneración. Una de las consecuencias es que la generación de calor en el equipo acondicionador de energía es menor y por tanto el deterioro propio del acondicionador y el de los equipos externos a él, como los de señalización y control, lo es también. En cuanto al desempeño del material troceador, se puede señalar que el control de aceleración, marcha y frenado es muy fino, permite mayores aceleraciones, tiene un menor tiempo de respuesta, proporciona una mayor seguridad, por un mejor control de patinaje y deslizamiento; y presenta un menor número de fallas. Finalmente

el mantenimiento del equipo troceador, tanto correctivo como preventivo, demanda operaciones más sencillas y requiere de menores recursos (tanto humanos como materiales).

Del lado del aspecto económico tenemos que debido a sus ventajas técnicas el equipo troceador opera con costos menores, tanto en consumo de energía como en su mantenimiento. Y concluimos que aplicar la transformación resulta menos costoso que la política de dejar operando al tren en su estado actual hasta su obsolescencia.

Siendo la ventaja económica inherente a la diferencia tecnológica del

$$\frac{OPJH - OPTR}{OPJH} \times 100$$

$$\frac{\$84.46 \times 10^6 - 42.48 \times 10^6}{\$84.46 \times 10^6} \times 100 = 49.58\%$$

Ahora considerando la transformación y sus costos, la ventaja económica resulta, al final del horizonte de análisis, de

(Operación de los trenes no transformados) - (Operación de los trenes transformados y el costo de inversión)

Operación de los trenes no transformados

$$\frac{\$142.15 \times 10^6 - \$107.28 \times 10^6}{\$142.15 \times 10^6} \times 100 = 24.53\%$$

Otras conclusiones interesantes resultan de la relación que guardan entre sí los diferentes elementos de la evaluación económica: en primer lugar el costo de la energía resultó ser mucho más importante que el de mantenimiento, del orden de

Costo del consumo de energía del JH/CAM del JH

$$\$82.32 \times 10^6 / \$2.14 \times 10^6 = 38.46 \text{ veces}$$

para el equipo JH, y para el troceador de

Costo del consumo de energía del troceador/CAM del troceador

$$\$42. \times 10^6 / \$0.57 \times 10^6 = 73.68 \text{ veces}$$

en segundo lugar el abatimiento de costo que se lograría sería mayor para el mantenimiento, de

$$\frac{\text{CAM de JH} - \text{CAM del troceador}}{\text{CAM de JH}} \times 100$$

$$\frac{\$2.14 \times 10^6 - \$0.57 \times 10^6}{\$2.14 \times 10^6} \times 100 = 73.36\%$$

que en el consumo de energía, de

$$\frac{\text{Costo del consumo de energía del JH} - \text{Costo del consumo de energía del troceador}}{\text{Costo del consumo de energía del JH}} \times 100$$

$$\frac{\$82.32 \times 10^6 - \$42. \times 10^6}{\$82.32 \times 10^6} \times 100 = 48.97\%$$

Un detalle que es prudente mencionar es que el equipo JH no es una tecnología defectuosa, sino que es debido al alto nivel de exigencia con que opera el sistema en México por lo que funciona con un alto nivel de fallas y con elementos que fallan consistentemente. Las fallas en el troceador, en cambio, son menores y se encuentran dispersas en los diferentes elementos, esto es que los elementos no tienden a fallar consistentemente, lo indica que en el nivel de operación del sistema el troceador no presenta fallas inherentes a su funcionamiento.

Debido a la mayor confiabilidad del material equipado con troceador, los problemas causados por retrasos en la línea son menores. Además el mejor desempeño del material, esto es un control más fino, disminuye los efectos de las sacudidas (Jerks).

Los efectos de lo anterior aunque difíciles de cuantificar tienen una gran importancia, desde el beneficio económico por la disminución de pérdidas hora-hombre causadas por retrasos, hasta el beneficio en la salud del usario al disminuir las situaciones de tensión que tienen un efecto muy definido perjudicial en el organismo (stress).

Dos puntos importantes para señalar en cuanto a la tecnología troceador son que: primero, el uso de una tecnología más avanzada pero más dependiente del exterior implica riesgos que son difíciles de cuantificar y segundo que es difícil considerar el efecto de puesta en operación (mise en oeuvre) de los trenes transformados, esto es, la adaptación de los trenes.

Finalmente, cabe expresar dos recomendaciones que amplían las conclusiones ya presentadas, pero que requieren de un estudio más a fondo que queda fuera de los límites de este trabajo:

- 1) El tiempo que toma la transformación de los trenes JH en equipo con tiristores usando solamente los recursos del STC es bastante largo y como consecuencia las últimas transformaciones estarían demasiado cerca del fin de la vida útil para los trenes (como un todo). Se propondría que parte de la transformación se subcontratara (por ejemplo a CMCF) en cuyo caso los costos de transformación aumentarían por el margen de ganancias para la compañía, el transporte de los trenes, etc. y aún así la transformación sería ventajosa ya que como se vió

los mayores ahorros son en la economía de energía con mucho.

- 11) Se puede pensar que la vida útil que indica el fabricante de los trenes no sea una medida apropiada como se ha considerado en el presente trabajo, ya que el ritmo y carga de trabajo al que se han sometido los trenes en STC es muchas veces mayor que el que indica el fabricante para la vida útil mencionada, por lo que ésta se verá reducida en un factor que puede ser importante. Un análisis más profundo en cuanto a la vida útil remanente en estos trenes es recomendable.

los mayores ahorros son en la economía de energía con sucho.

- 11) Se puede pensar que la vida útil que indica el fabricante de los trenes no sea una medida apropiada como se ha considerado en el presente trabajo, ya que el ritmo y carga de trabajo al que se han sometido los trenes en SIC es muchas veces mayor que el que indica el fabricante para la vida útil mencionada, por lo que ésta se verá reducida en un factor que puede ser importante. Un análisis más profundo en cuanto a la vida útil remanente en estos trenes es recomendable.

A N E X O A
CONCENTRADOS DE DATOS DE FALLAS
(INACTIVACION DE LAS MOTRICES)

mes:	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11				
	enero		febrero		marzo		abril		mayo		junio		julio		agosto		septiembre		octubre		noviembre				
fechas:	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
1																									
2																									
3																									
4	numero de horas	01 0	02 0	03 0	04 0	05 0	06 0	07 0	08 0	09 0	10 0	11 0	12 0	13 0	14 0	15 0	16 0	17 0	18 0	19 0	20 0	21 0	22 0		
5	numero de horas	00	05	06	03	03	03	03	03	03	03	03	04	04	04	04	04	04	04	04	04	04	04		
6																									
7																									
8																									
9																									
10	1. Reemplazo 1																								
11	1	1	3		1	3		0	3		10		3		1										
12	2																								
13	3	2	4						4		8		15		2										
14	4		1																						
15	5	3	3		1	1			5		5		15		5										
16	6	1																							
17	7	6	3	1	4	1		2	13		10		27		17										
18	8																								
19	9	0	2		12		8		10		23	6	24		26	1				1	2		2	1	
20	10	1																							
21	11	5	1		7	2		3	4	1	2		14		10						1		2		
22	12																								
23	13	7	3		6	3		20	15		8		20		10					1	1				
24	14	14	3		4	3		24	9		28	2	29		20	2				24	4		24	14	1
25	15	1			1			2	2		3		1	1		1									
26	16	3			1			3	2		3		13		4								13	2	
27	17	1			1			3			3														
28	18																								
29	19	2			1			1			2		1								1	1			
30	20	1			1			1		1	4		4		3							1	1		
31	21	2			1			1	1	1	4		6		2										
32	22								1	1	2		5		3										
33	23	0			2			1	2		2		2		2										
34	24	6	3		10	1		23	14	1	16		21		24	2				24	4		23	3	
35	25	1			1			2	2		3		1	1		1									
36	26	3			1			3	2		3		13		4								13	2	
37	27	1			1			3			3														
38	28																								
39	29	2			1			1			2		1												
40	30	1			1			1		1	4		4		3										
41	31	2			1			1	1	1	4		6		2										
42	1	0			2			1	2		2		5		3										
43	2	6	3		12		10	1	23		14	1	16		21	2				24	4		23	3	
44	3	1			1			2	2		3		1	1		1									
45	4	3			1			3	2		3		13		4								13	2	
46	5	2			1			1			2		1												
47	6	3			1			2	2		3		13		4								13	2	
48	7	2			1			1			2		1												
49	8	1			1			1			1		1		1										
50	9				1			1			1		1												

1	2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12	
	enero	enero	febrero	febrero	marzo	marzo	abril	abril	mayo	mayo	junio	junio	julio	julio	agosto	agosto	septiembre	septiembre	octubre	octubre	noviembre	noviembre
1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	RSD																					
3	RSD	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
4	RCR	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	RCP																					
6	RPV																					
7	RQZ	2																				
8	RYS																					
9	RPK	5	2																			
10	RSPI	2	3																			
11	RSPI																					
12	RVA																					
13	RCD																					
14	RSY	5	2																			
15	RAT																					
16	RSR	5	5																			
17	RNP																					
18	RYS																					
19	RFP																					
20	RRH	6	5																			
21	REB																					
22	RNP																					
23	RVD																					
24	RVP																					
25	RAB	2	3																			
26	RAY																					
27	TOTAL	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
28	TOTAL	42	50	50	64	64	53	66	40	40	35	35	40	35	35	40	40	40	40	40	40	40
29																						
30																						
31																						
32																						
33																						
34	A - Deportes																					
35	LT	4	1																			
36	BT																					
37	PS	2	1																			
38	PS																					
39	WRB	1	3																			
40	SSL	1																				
41	T & Z	4	2																			
42	PS	19	19																			

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	
	1-4	2-4	3-4	2-4	2-4	2-4	2-4	2-4	3-4	2-4	3
CRP	3	8.1	5	9			2	2			
TOTAL POR LINEA	20	21.1	11.20	11.16	6.3	25.19	21.22	24.13	21.14	23.2	
TOTAL POR MES	20	20.2	13.7	14.5	6.3	25.19	21	20	20	20	20
TOTAL POR LINEA											
TOTAL POR MES	255	204	152	129	31	44	44	46	36	36	
S. Finales											
102-112	2	1						3	12	9	
102-116	2	9.1	2				2			4	
102-119	1	3.1	3.2	3	2.2		3.1	4	5	3.1	
102-123	1	1						2	6		
111-112	3	3.11	5.6	12	10.5	9.2	11.6	2	9		
111-113	10.8	9.11	13.4	15	15.4	1.2	9.2	2	1.1	5.2	
8-BA	10	10.4	21.1	9.4	10.2	3.5	11	2.2	3.4	5.1	
11-10A	2		1	2.1	1	3	3	4	1		
11-11A		1	1				1				
750(A)-750(B)	2	2	5	5	2	4	2	1	3		
500(A)-500(B)	8	4	2.1	2.1	2.3	5	2.2	1.3	2		
52(A)-52(B)					2.1	4	1	1	1		
TOTAL POR LINEA	11.4	26.26	21.16	29.8	31.15	29.12	50.10	35.6	31.21	36.5	
TOTAL POR MES	80	34	23	33	67	31	50	41	52	44	
A. Dep. Div.											
SHE	1			4		2	1	1	3	3	
T.F	2	1	5	4	3	6	12	7	6	10	
INSTR	2	2	2	1	1	4				1	
KIT	3										
Arquitecto				2		1	2		3		
Instal. de agua		1	1		3	5					
Instal. de electricidad		5	3	12	24		8				
Instal. de calef. central		13	14	35	15	11					

	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12	
	enero	febrero	enero	febrero	enero	febrero	enero	febrero	enero	febrero	enero	febrero	enero	febrero	enero	febrero	enero	febrero	enero	febrero	enero	febrero	enero	febrero
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5
2	1																							
3	1																							
4	1																							
5	1																							
6	1																							
7	1																							
8	1																							
9	1																							
10	1																							
11	1																							
12	1																							
13	1																							
14	1																							
15	1																							
16	1																							
17	1																							
18	1																							
19	1																							
20	1																							
21	1																							
22	1																							
23	1																							
24	1																							
25	1																							
26	1																							
27	1																							
28	1																							
29	1																							
30	1																							
31	1																							
32	1																							
33	1																							
34	1																							
35	1																							
36	1																							
37	1																							
38	1																							
39	1																							
40	1																							
41	1																							
42	1																							
43	1																							
44	1																							
45	1																							
46	1																							
47	1																							
48	1																							
49	1																							
50	1																							
51	1																							
52	1																							

1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52.

| | | |
|--------|---------|--------|
| REPARO | INSALUD | TIEMPO |
| APROBO | | |

| 8 | | 9 | | | 10 | | | 11 | | | 12 | | 13 | | 14 | | 15 | | | 16 | | | | | | | | |
|------|-------|---|-------|---|----|--------|----|----|------------|----|----|---------|----|-----------|----|-----------|----|-------|----|---------|----|----|-------|-------|----|----|----|----|
| Mayo | Junio | | Julio | | | Agosto | | | Septiembre | | | Octubre | | Noviembre | | Diciembre | | Enero | | Febrero | | | Marzo | Abril | | | | |
| 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

DR. JOSÉ RAÚL ARRIGHETTI, DOCTORE EN DENTISTIA EN BUENOS AIRES

| | |
|----------|--|
| PREPARED | |
| APPROVED | |

| 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | |
|-----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----|-----|-----|---------|---------|----|
| May | June | July | August | September | October | November | December | Jan | Feb | Mar | Apr | May | 1 |
| 1 5 | 2 4 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 4 5 | 1 2 3 | 2 3 | 2 3 | 2 3 | 2 3 4 5 | 2 3 4 5 | 1 |
| 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | | | | | 1 | 2 |
| 1 | | | | | | | | | | | | | 3 |
| 1 | | | | | | | | | 1 | | 1 | 1 | 4 |
| 1 | | | | | | | | | | | | | 5 |
| 1 | | | | | | | | | | | | | 6 |
| 1 | | | | | | | | | | | | | 7 |
| 1 | | | | | | | | | | | | | 8 |
| | | | | | | | | | | | | | 9 |
| | 1 | | | | | | | | | | | | 10 |
| | 2 | | | | | | | | | | | | 11 |
| | 1 | | | | | | | | | | | | 12 |
| | 1 | | | | | | | | | | | | 13 |
| | 1 | 1 | | | 1 | | | | | | | | 14 |
| | | 1 | | | | | | | | | | | 15 |
| | | 1 | | | | | | | | | | | 16 |
| | | 1 | | | | | | | | | | | 17 |
| | | 1 | | | | | | | | | | | 18 |
| | | 1 | | | | | | | | | | | 19 |
| | | 1 | | | | | | | | | | | 20 |
| | | 1 | | | | | | | | | | | 21 |
| | | 1 | | | | | | | | | | | 22 |
| | | 1 | | | | | | | | | | | 23 |
| | | 1 | | | | | | | | | | | 24 |
| | | 1 | | | | | | | | | | | 25 |
| | | 1 | | | | | | | | | | | 26 |
| | | 1 | | | | | | | | | | | 27 |
| | | 1 | | | | | | | | | | | 28 |
| | | 1 | | | | | | | | | | | 29 |
| | | 1 | | | | | | | | | | | 30 |
| | | 1 | | | | | | | | | | | 31 |
| | | 1 | | | | | | | | | | | 32 |
| | | 1 | | | | | | | | | | | 33 |
| | | 1 | | | | | | | | | | | 34 |
| | | 1 | | | | | | | | | | | 35 |
| | | 1 | | | | | | | | | | | 36 |
| | | 1 | | | | | | | | | | | 37 |
| | | 1 | | | | | | | | | | | 38 |
| | | 1 | | | | | | | | | | | 39 |
| | | 1 | | | | | | | | | | | 40 |
| | | 1 | | | | | | | | | | | 41 |
| | | 1 | | | | | | | | | | | 42 |

RECAP OF 1967

| 1 | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | 7 | | 8 | | 9 | | 10 | | 11 | |
|----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|---|---|---|---|---|---|----|---|----|---|
| | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sept | Oct | | | | | | | | | | |
| | 3 | 5 | 3 | 5 | 3 | 5 | 3 | 5 | 3 | 5 | 2 | 3 | 5 | 7 | 3 | 5 | 2 | 3 | 5 | 7 |
| 1 | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23 | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24 | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 26 | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 27 | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 28 | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 29 | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 30 | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 31 | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 32 | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 33 | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 34 | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 35 | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 36 | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 37 | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 38 | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 39 | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 40 | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 41 | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 42 | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

(copy to log 3)

(copy to log 4)

NUMEROS TOTAL

| | |
|----------|--|
| PREPARO | |
| APROBADO | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|------|-----|-------|------|------|------|-----|---------|------|------|----|----|----|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| May. | Jun. | JUL. | Ag. | Sept. | Oct. | Nov. | Dic. | En. | Febrero | Mar. | Abr. | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 |
| 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |
| 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
| 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 |
| 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 |
| 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 |
| 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 |
| 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 |
| 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
| 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 |
| 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 |
| 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 |
| 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 |
| 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 |
| 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 |
| 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 |
| 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 |
| 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 |
| 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 |
| 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 |
| 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 |
| 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 |
| 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 |
| 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 |
| 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 |
| 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 |
| 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 |
| 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 |
| 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 |
| 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 |

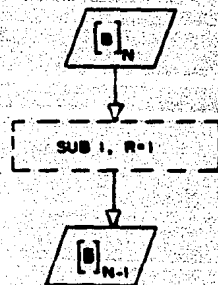
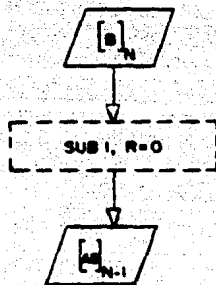
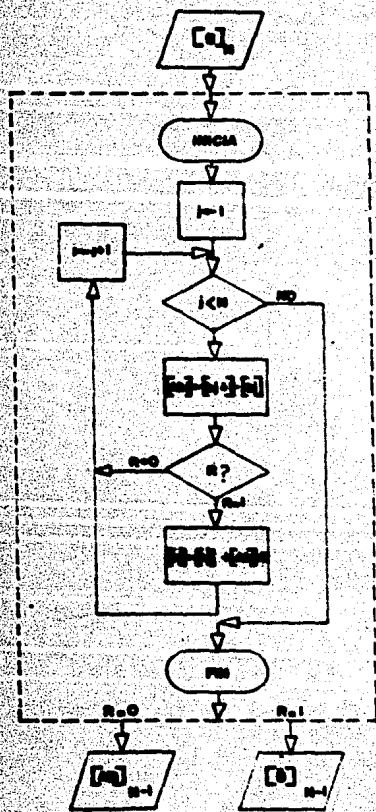
NOVA 2 MAR.

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42

A N E X O B

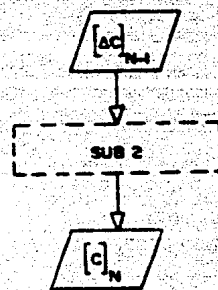
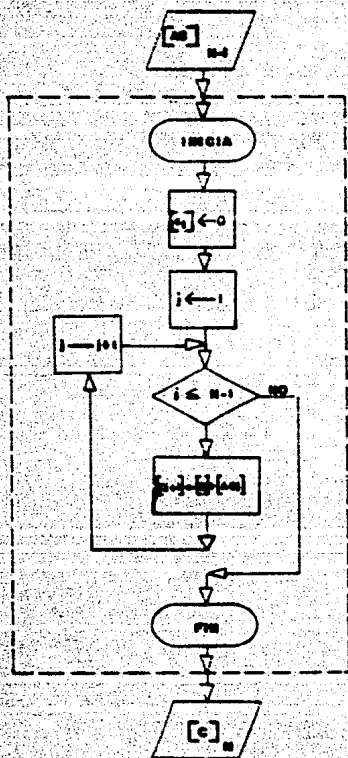
ALGORITMOS

- Subrutina 1



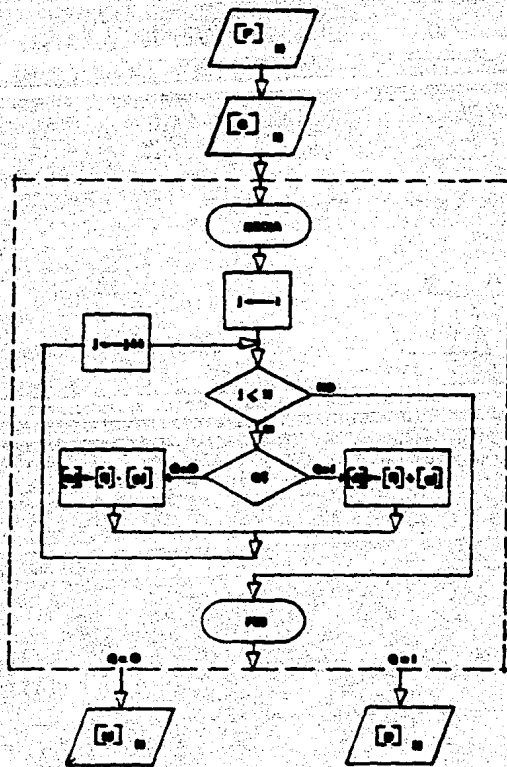
Esta subrutina obtiene los incrementos entre datos o los valores promedio entre datos, según el valor de la bandera (R).

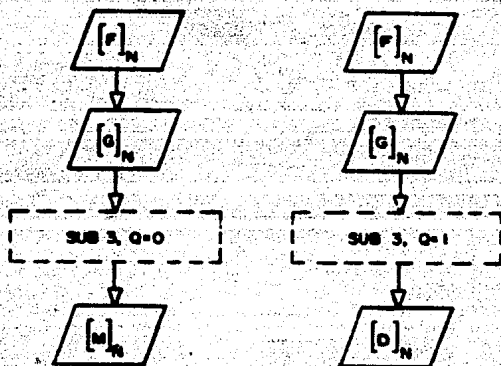
- Subrutina 2



Esta subrutina efectúa la suma de incrementos.

- Subrutina 3

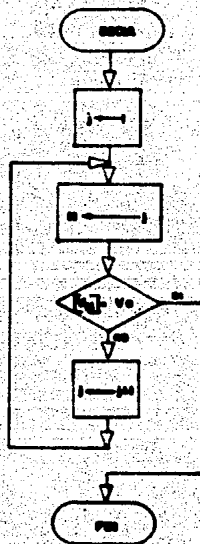


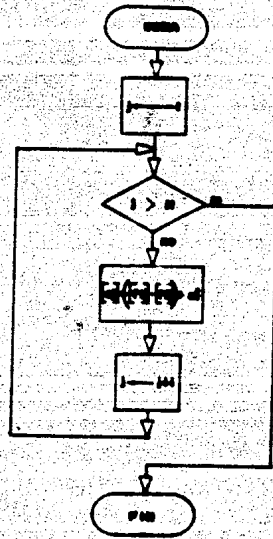


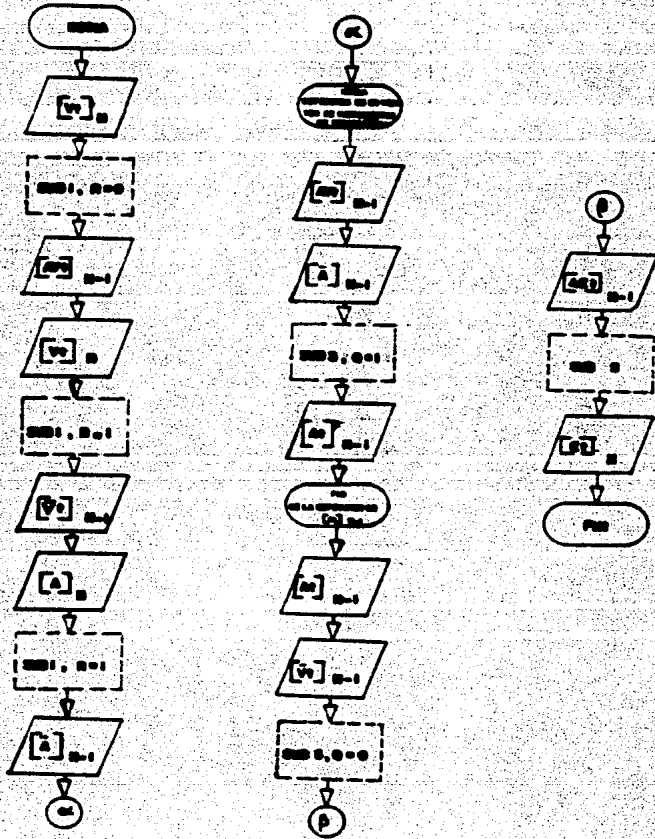
Esta subrutina multiplica los elementos de dos vectores, cuando la bandera Q es igual a cero. Cuando el valor de la bandera es uno, la subrutina efectúa el cociente de los elementos de $[F_N]$ entre los de $[G_N]$.

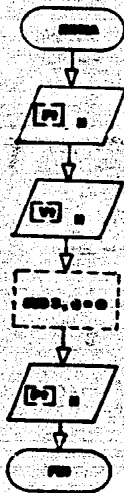
- Rutinas del algoritmo para tracción.

1.- Para encontrar N. (dado V_c).



2.- Obtención del vector aceleración del tren $[A]_M$.

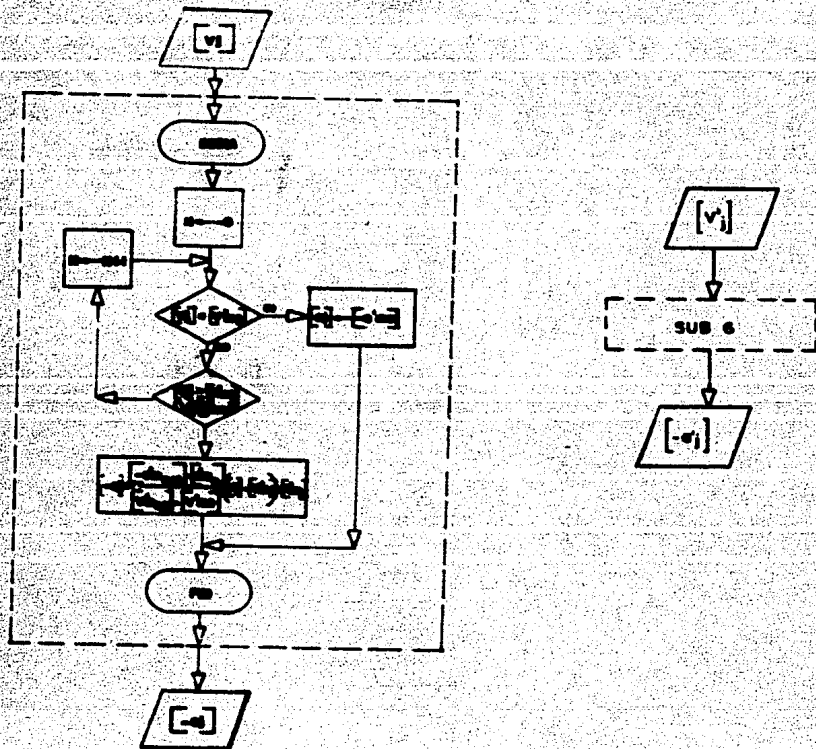
3.- Obtención del vector de desplazamiento $[E]_M$.

4.- Obtención del vector de potencia tractiva $[Pt]_M$ (potencia mecánica).

5.- Obtención del trabajo mecánico realizado por los motores de CD(Tc)_M.



Subrutina 6, que dado un valor de velocidad $[v_j]$ encuentra, extrapolando, una desaceleración correspondiente $[-a_j]$ a partir de los vectores $[V'm]$ y $[-A'm]$.



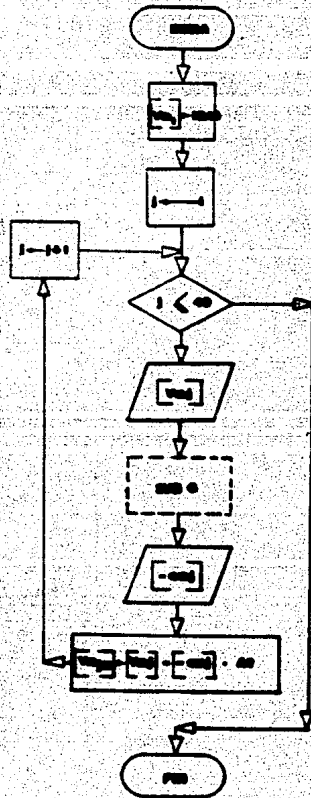
- Rutinas del algoritmo para marcha libre:

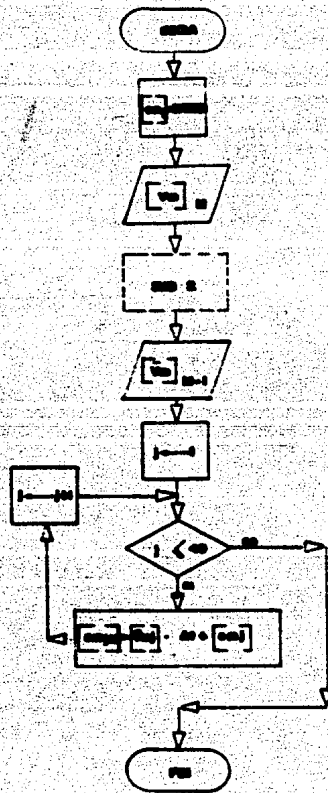
Las condiciones iniciales para la operación de marcha son: la velocidad crucero y el desplazamiento obtenido al final de la tracción:

$$v_c = 19.44 \text{ [m/s]} \text{ y } e = 317.95 \text{ [m]}.$$

- Para encontrar el vector de velocidad $[V]_M$, que es el vector de m velocidad para la operación de marcha en función del desplazamiento.

Se utilizó un $\Delta t = 1$ [s] y un tiempo máximo para marcha libre de 40 [s], por lo que $N = 40$



2. Obtención del vector desplazamiento $[E_m]_H$.

Rutinas del algoritmo para la operación de frenado:

Como los requisitos de servicio imponen una desaceleración constante, se obtienen las siguientes expresiones para la velocidad y el desplazamiento del tren en función del tiempo:

$$v = v_i - at \dots (1) \quad ; \quad e = v_i t - \frac{a}{2} t^2 + e_i \dots (2)$$

donde v_i es la velocidad alcanzada al final de la operación de marcha, e_i es el desplazamiento al final de la marcha libre y a es la desaceleración impuesta por las condiciones de servicio.

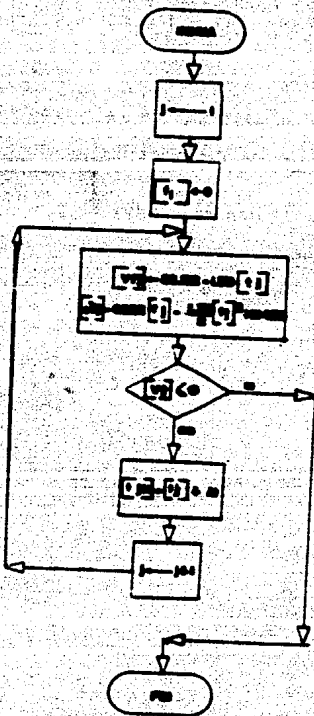
Considerando el caso límite en el que el tren frena a la velocidad máxima (v_c), sabiendo que la desaceleración de servicio es igual a $1.33 \text{ [m/s}^2\text{]}$ y recordando que el recorrido asumido es de $L = 1$ kilómetro, calculamos e_i como:

$$e_i = 1000 - 22.22 \left(\frac{22.22}{1.33} \right) + \frac{1.33}{2} \left(\frac{22.22}{1.33} \right)^2 = 814.39 \text{ [m]}$$

Así las expresiones anteriores quedan:

$$v = 22.22 - 1.33t \quad ; \quad e = 22.22t - \frac{1.33}{2} t^2 + 814.39$$

1.- Obtención de los vectores $[V_f]_N$ y $[E'f]_N$, velocidad y desplazamiento en el frenado.



Se utilizó un $\Delta t = 0.5$ [s].

Además es necesario añadir a los vectores encontrados los siguientes datos:

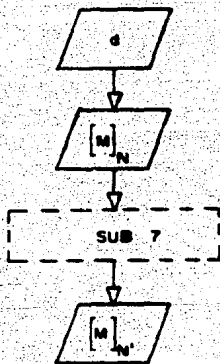
- El punto donde se produce el cambio a la región de esfuerzo generador constante:

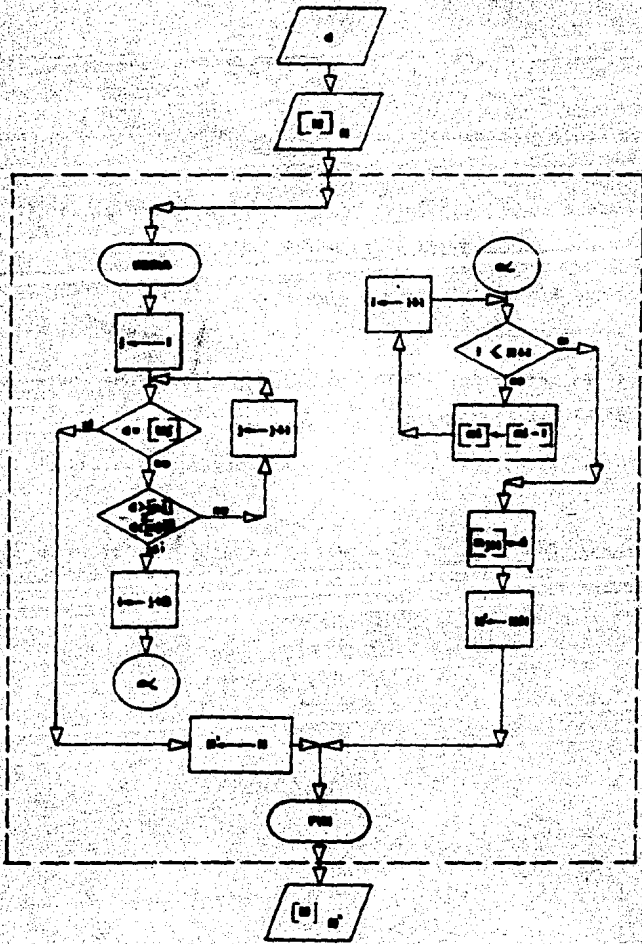
De la gráfica: $v = 19.44$ [m/s] y a partir de las ecuaciones (1) y (2)
 $t = 2.09$ [s] y $e = 43.54$ [m].

- La velocidad límite del frenado eléctrico: 3.33 [m/s] (12 km/hr). y a partir de las ecuaciones (1) y (2): $t = 14.02$ [s] y $e = 181.43$ [m].
- El final del recorrido, $v = 0$, donde con las ecuaciones obtenemos:
 $t = 16.71$ [s] y $e = 185.61$ [m].

Estos datos se insertan en los vectores correspondientes con la siguiente subrutina:

- Subrutina 7. Donde $[M]_N$ es una matriz vector cualquiera y d el dato a insertar.



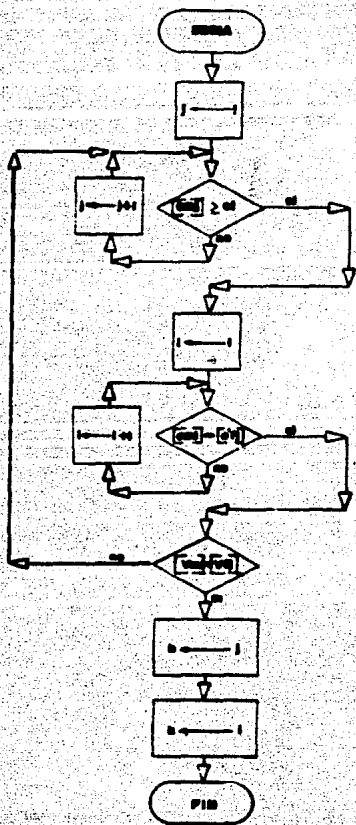


2. Para encontrar el vector de potencia mecánica ejercida durante el frenado eléctrico $[P_f]_{N'}$.



En donde $[F_f]_{N'}$ es el vector de esfuerzo ejercida en el frenado eléctrico y se obtiene de la gráfica de frenado eléctrico del tren, a partir del vector de velocidad $[V_f]_{N'}$.

- 3.- Esta última rutina tiene por objeto encontrar el punto (velocidad) en que se inicia el frenado, esto es, la intersección de las curvas de marcha y frenado ya obtenidas.

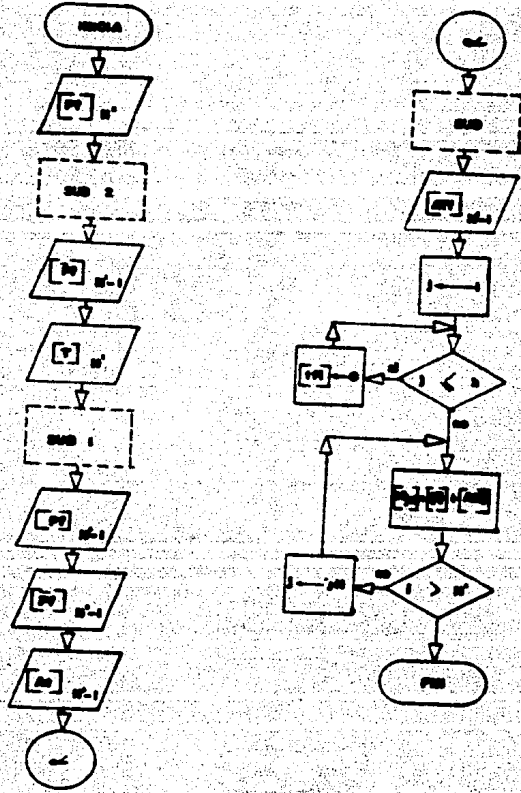


En donde e_i es el dato ya calculado: $e_i = 814.39$ [m]; $[E_m]$ es el desplazamiento durante la operación de marcha y $[E'f]$ lo es durante el frenado.

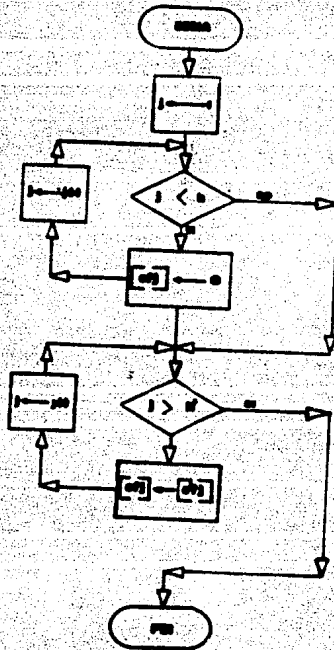
k representa el punto dentro del vector $[E_m]$ que marca el fin de la operación de marcha.

j es el punto dentro del vector $[E_f]$ que señala el punto de inicio del frenado

4. Para obtener el trabajo mecánico de frenado eléctrico $[T_f]_{M1}$



5. Obtención del vector de desplazamiento $[E_f]_N$. (para obtener la gráfica correspondiente).



A N E X O C

ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO PROPUESTO

(COMPLEMENTARIAS)

Fournisseurs 242

| NOM | ADRESSE | REFERENCE | Encadré n° (ou titulaire) |
|---------|--|------------|---------------------------|
| C.D.S.W | AV. GEORGES DURAND
BP 107 72003 LE MANS | T9GH.25.07 | 2 603 120 |
| | | | |

| MATERIEL | APPLICATIONS | N° ONDESSE d'ENSEM.
CONSTRUCT. | N° S.A.T. |
|----------|--------------|-----------------------------------|-----------|
| ME77TT | | | |

- FICHE DE RECEPTION 5 628 299

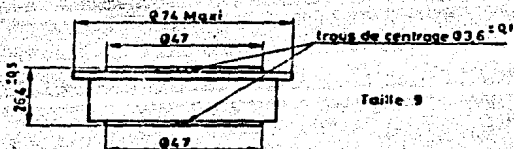
- CONTROLE D'ENTREE

NE PAS ENVOYER CETTE FEUILLE AUX FOURNISSEURS

| 1/2/3 | | EVENEMENTS | | REMARQUES | |
|-------|--|------------|--|---------------------|------------|
| | | | | 5 628 300 | Faible L/S |
| | | | | THYRISTOR DE RETOUR | |
| | | | | TY RT | |
| | | | | 77.9.50 2 | 2 121 |

Alm 12-4-85

243
CARACTERISTIQUES THYRISTOR DE RETOUR TY-RT



- Les conducteurs de gachette et de rappel de cathode sont conformes au plan 5 614 186
- Etat de surface du boîtier :
 - 1°/ Planéité : $\leq 0,02\text{mm}$ sur le Φ de la surface de contact
 - 2°/ Rugosité : $Ra = 0,8$ (32 μ inches) après usinage de la surface
 - 3°/ Parallélisme des faces : $\leq 0,4\text{mm}$
- Finition du boîtier : Nickel
- Esclérosité du boîtier : NPC 96.821
- Effort de serrage : 2266 daN

LA FEUILLE N° 1 NE CONCERNE PAS LE FOURNISSEUR

JEUMONT-SCHNEIDER

5 628 300

Feuille 2/5

21

| | | | | | |
|----|--|-------------------------|------|-----------|---|
| 1 | Tension inverse de pointe répétitive. | V_{RM}
(V) | 2250 | | $T_{VJ} = 125^{\circ}\text{C}$
Gâchette ouverte |
| 2 | Tension inverse de pointe non répétitive. | V_{RM}
(V) | 2900 | | $T_{VJ} = 25^{\circ}\text{C}$
Gâchette ouverte |
| 3 | Courant inverse de pointe répétitive à V_{RM} | I_{RM}
(mA) | | 45
100 | $T_{VJ} = 25^{\circ}\text{C}$
$T_{VJ} = 125^{\circ}\text{C}$
Gâchette ouverte |
| 4 | Tension directe de pointe répétitive à l'état bloqué | V_{DM}
(V) | 2800 | | $T_{VJ} = 125^{\circ}\text{C}$
Gâchette ouverte |
| 5 | Tension directe de pointe non répétitive à l'état bloqué. | V_{DM}
(V) | 2800 | | $T_{VJ} = 25^{\circ}\text{C}$
Gâchette ouverte |
| 6 | Courant direct de pointe répétitive à l'état bloqué à V_{DM} | I_{DM}
(mA) | | 45
100 | $T_{VJ} = 25^{\circ}\text{C}$
$T_{VJ} = 125^{\circ}\text{C}$
Gâchette ouverte |
| 8 | Essai en blocking-life sous tension continue 0,8 V_{DM} | I_{DM}
(mA) | | 30 | $T_{VJ} = 125^{\circ}\text{C}$
Durée 4 heures |
| | | ΔI_{DM}
(mA) | | 16 | Gâchette ouverte |
| 9 | Courant non répétitif de surcharge à l'état passant | I_{SM}
(mA) | 17 | | $T_{VJ} = 125^{\circ}\text{C}$
Impulsion sinusoïdale.
$T/2 = 10 \mu\text{s}$ |
| 10 | Puissance de pointe de gâchette. | P_{SM}
(W) | 60 | | $T_{VJ} = 25^{\circ}\text{C}$
$t \leq 150 \mu\text{s}$ à 50 Hz |
| 11 | Puissance moyenne de gâchette. | P_{SM}
(W) | 6 | | $T_{VJ} = 25^{\circ}\text{C}$ |
| 12 | Tension directe de pointe de gâchette | V_{SM}
(V) | 15 | | $T_{VJ} = 25^{\circ}\text{C}$
$t \leq 50 \mu\text{s}$ à 50 Hz |
| 13 | Tension inverse de pointe de gâchette | V_{SM}
(V) | 5 | | $T_{VJ} = 25^{\circ}\text{C}$ |
| 14 | Courant direct de pointe de gâchette. | I_{SM}
(A) | 4 | | $T_{VJ} = 25^{\circ}\text{C}$
$t \leq 150 \mu\text{s}$ à 50 Hz |

| | | | | | |
|----|--|---|-----|-------|--|
| 15 | Courant de gâchette d'allumage. | I_{GT}
(mA) | | 300 | $T_{VJ} = 25^{\circ}\text{C}$ |
| | | I_{GT}
(mA) | | 600 | $T_{VJ} = -40^{\circ}\text{C}$ |
| 16 | Courant de gâchette de non allumage. | I_{GD}
(mA) | 30 | | $T_{VJ} = 25^{\circ}\text{C}$ |
| 17 | Tension de gâchette d'allumage. | V_{GT}
(V) | | 3 | $T_{VJ} = 25^{\circ}\text{C}$ |
| 18 | Caractéristique directe de gâchette. | V_{GK}
(V) | 1 | 3 | $T_{VJ} = 25^{\circ}\text{C}$
$I_{GK} = 400\text{ mA}$
Anode ouverte |
| 20 | Résistance thermique Junction-Boîtier | R_{JC}
($^{\circ}\text{C}/\text{W}$) | | 0.018 | Continu |
| 23 | Tension à l'état passant pour $I_T = 1500\text{ A}$ | V_{TH}
(V) | | 2.8 | $T_{VJ} = 25^{\circ}\text{C}$
Impulsion d'intensité 1500 A crête.
$T = 10\text{ ns}$ 1 Hz |
| 24 | Temps d'amorçage par la gâchette. | t_{ON}
(μs) | | 4.5 | $T_{VJ} = 25^{\circ}\text{C}$ |
| 25 | Temps de désamorçage par commutation. | t_{OFF}
(μs) | | 200 | $T_{VJ} = 125^{\circ}\text{C}$
$I_F = 500\text{ A}$ $L = 300$
$di/dt = 50\text{ A}/\mu\text{s}$
$V_R = 100\text{ V}$
$dv/dt = 20\text{ V}/\mu\text{s}$
$V_D = 0,8\text{ V}_{DIR}$
$f \leq 5\text{ Hz}$ |
| 26 | Vitesse critique de croissance de la tension à l'état bloqué. | dv/dt
($\text{V}/\mu\text{s}$) | 300 | | $T_{VJ} = 125^{\circ}\text{C}$
$V_D = 0,8\text{ V}_{DIR}$
Exponentielle
Gâchette ouverte |
| 27 | Vitesse critique de croissance du courant à l'état passant $f = 600\text{ Hz}$. | di/dt
($\text{A}/\mu\text{s}$) | 300 | | |
| 28 | Vitesse de décroissance du courant à l'état passant $f \leq 600\text{ Hz}$ | di/dt
($\text{A}/\mu\text{s}$) | 100 | | |

| | | | | |
|----|--|----------------------------|-----|--|
| 29 | Charge stockée en inverse
$Q_{\text{ref}} = I_c (t_1 + 2t_2) / 2$ | η_{ref}
(%) | 500 | $T_{\text{vj}} = 25^\circ\text{C}$
Impulsion trapézoïd. si
500A pendant 700 μs
$\frac{di}{dt} = 50\text{A}/\mu\text{s}$
$R = 2.0 \Omega$
$C = 0.47\mu\text{F}$ |
|----|--|----------------------------|-----|--|

| | | | |
|------|---|-------------|---------------------------|
| NOM | ADRESSE 247 | REFERENCE | Encadrement
ou montage |
| CDSW | Avenue Georges Durand
BP 107 72003 LE MANS | RA 22.34.16 | 1 600 887 |
| | | | |

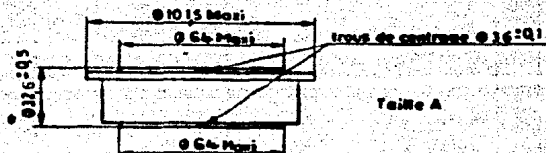
| | | |
|----------|--------------|--|
| MATERIEL | APPLICATIONS | N° D'IDENTIFICATION
CONSTRUCT. S.A. |
| ME77.7.T | | |

- FICHE DE RECEPTION : 5 614 520

- CONTROLE D'ENTREE :

NE PAS ENVOYER CETTE FEUILLE AUX FOURNISSEURS

| | | | |
|--|------------------------------|---|--|
| | | J. JELIPONT 194 AVENUE DU PRESIDENT WILSON
COMPTON 43212 LA PLAINE ST DENIS 93063 FD | |
| | | 5 614 264 | Feuille V3 |
| DIODE DE ROUE LIBRE
D.R.L. | | | |
| Date 12-4-85
C 15-02-85
M 15-03-85
A 16-04-85 | Etat
Date
V. 2
Etat | N° L
N° L
N° L | MATERIEL FERME
MATERIEL ROULANT
RATP - FR
77.9.50 2 2 123 |

CARACTERISTIQUES DIODE DE ROUE LIBRE D.RL

- Epaisseur du SC après pressage sur radiateur.

- Etat de surface du boîtier :

1°) Planéité : $\leq 0,02 \text{ mm}$ sur le \varnothing de la surface de contact

2°) Rugosité : $R_a = 0,8$ (32 μ inch) après usinage de la surface.

3°) Parallélisme des faces : $\leq 0,4 \text{ mm}$

- Vinition du boîtier : Nickelé

- Etanchéité du boîtier : NFC 96.821

- Effort de serrage : 4500 daN

LA FEUILLE N° 1 NE CONCERNE PAS LE FOURNISSEUR

**JEUMONT-
SCHNEIDER**

5 614 264
Feuille 2/3

| N° | Paramètre | Symbole
unité | Min | Max | Conditions d'ess. |
|----|--|---|------|-----------|--|
| 1 | Tension inverse de pointe
répétitive. | V_{RRM}
(V) | 3400 | | $T_W = 150^\circ\text{C}$ |
| 2 | Tension inverse de pointe
non répétitive. | V_{RSM}
(V) | 3600 | | $T_{VJ} = 25^\circ\text{C}$ |
| 3 | Courant inverse de pointe
répétitive à V_{RRM} | I_{RRM}
(mA) | | 75
200 | $T_W = 25^\circ\text{C}$
$T_{VJ} = 150^\circ\text{C}$ |
| 5 | Courant moyen | I_o
(A) | 1600 | | $T_W = 150^\circ\text{C}$ |
| 6 | Tension à l'état passant
à $I_p = 1500$ A | V_{FM}
(V) | | 1,8 | $T_{VJ} = 25^\circ\text{C}$
1 impulsion 1500 |
| 7 | Résistance thermique | R_{thJC}
($^\circ\text{C}/\text{W}$) | | 0,013 | |
| 8 | Temps de recouvrement en
inverse. | t_{rr}
(μs) | | 8 | $T_{VJ} = 25^\circ\text{C}$
Impulsion rectangul.
de 500 A pendant 10
$dI/dt = 100$ A/ μs
$R_{thJC} = 0,013$ |
| 9 | Courant non répétitif de
surcharge | I_{FSM}
(A) | 49 | | $T_{VJ} = 150^\circ\text{C}$
1 impulsion alé-
atoire.
$T/2 = 10$ ms. |
| 10 | Tension maximale aux
bornes de la diode au
blocage | V_N
(V) | | 1400 | $T_{VJ} = 25^\circ\text{C}$
Impulsion rectangul.
de 300A pendant 10
$V_C = 530$ V
$C = 150$ μF
Selle court-circ.
$dI/dt = 200$ A/ μs
$R = 6,2$ Ω
$C = 0,47$ μF |

5 616 264

FOURNISSEURS

| NOM | ADRESSE 250 | REFERENCE | Encombrement
(au montage) |
|------|--|------------|------------------------------|
| COSW | Av. Georges Durand BP 107
72003 LE MANS | T9 GM 2210 | 2 603 120 |
| | | | |

| MATERIEL | APPLICATIONS | N° BUDESIM #ENST |
|----------|--------------|------------------|
| ME77.9T | | CONSTRUCT. R.A. |
| | | |

- FICHE DE RECEPTION : 5 614 533

- CONTROLE D'ENTREE :

- Livrés avec même classe de Qrr, par page

NE PAS ENVOYER CETTE FEUILLE AUX FOURNISSEURS

| | | | | |
|--|------|----|---|--------------------------------------|
| | Etat | 13 | FOURNIT : 181 AVENUE DU PR. SIDENT WILSON
SCHNEIDER 91212 LA PLAINE ST DENIS - 910 63 72 | |
| | Etat | | 5 614 263 | Feuille 1/5 |
| | Etat | | THYRISTORS D'ARRET
TY. AE 1/2 | |
| | Etat | | 77.950 2 2 122 | MATERIEL BELMANT
RATP - FR |

| N° | Paramètre | Symbole
unité | Min. | Max. | Conditions d'essai |
|----|---|---|------|----------|--|
| 1 | Tension inverse de pointe répétitive. | V_{RRM}
(V) | 2200 | | $T_{WJ} = 125^{\circ}\text{C}$
Gâchette ouverte |
| 2 | Tension inverse de pointe non répétitive. | V_{RSM}
(V) | 2300 | | $T_{WJ} = 25^{\circ}\text{C}$
Gâchette ouverte |
| 3 | Courant inverse de pointe répétitive à V_{RRM} | I_{RRM}
(mA) | | 30
60 | $T_{WJ} = 25^{\circ}\text{C}$
$T_{WJ} = 125^{\circ}\text{C}$
Gâchette ouverte |
| 4 | Tension directe de pointe répétitive à l'état bloqué | V_{DRM}
(V) | 2200 | | $T_{WJ} = 125^{\circ}\text{C}$
Gâchette ouverte |
| 5 | Tension directe de pointe non répétitive à l'état bloqué | V_{DSM}
(V) | 2200 | | $T_{WJ} = 25^{\circ}\text{C}$
Gâchette ouverte |
| 6 | Courant direct de pointe répétitive à l'état bloqué à V_{DRM} | I_{DRM}
(mA) | | 30
60 | $T_{WJ} = 25^{\circ}\text{C}$
$T_{WJ} = 125^{\circ}\text{C}$
Gâchette ouverte |
| 8 | Essai de blocking-life sous-tension continue $C_{\theta} V_{DRM}$ | I_{DRM}
(mA)
$A_{1, DRM}$
(mA) | | 60
9 | $T_{WJ} = 125^{\circ}\text{C}$
Durée 4 heures
Gâchette ouverte |
| 9 | Courant non répétitif de surcharge à l'état passant | I_{TSM}
(mA) | 8 | | $T_{WJ} = 125^{\circ}\text{C}$
Impulsion sinusoïdale
$\tau/2 = 10 \mu\text{s}$ |

| N° | Paramètre | Unité | Min | Max | Conditions de mesure |
|----|---------------------------------------|--|-----|-------|---|
| | | | | | 252 |
| 10 | Puissance de pointe de gâchette | P_{GPE}
(W) | 60 | | $T_{WJ} = 25^{\circ}\text{C}$
$t_{\text{dur}} \leq 150 \mu\text{s}$ à 50Hz |
| 11 | Puissance moyenne de gâchette | P_{GMV}
(W) | 6 | | $T_{WJ} = 25^{\circ}\text{C}$ |
| 12 | Tension directe de pointe de gâchette | V_{GPE}
(V) | 15 | | $T_{WJ} = 25^{\circ}\text{C}$
$t_{\text{dur}} \leq 150 \mu\text{s}$ à 50Hz |
| 13 | Tension inverse de pointe de gâchette | V_{GPI}
(V) | 5 | | $T_{WJ} = 25^{\circ}\text{C}$ |
| 14 | Courant direct de pointe de gâchette | I_{GPE}
(A) | 1 | | $T_{WJ} = 25^{\circ}\text{C}$
$t_{\text{dur}} \leq 150 \mu\text{s}$ à 50Hz |
| 15 | Courant de gâchette d'allumage | I_{GT}
(mA) | | 300 | $T_{WJ} = 25^{\circ}\text{C}$ |
| | | I_{GT}
(mA) | | 600 | $T_{WJ} = -40^{\circ}\text{C}$ |
| 16 | Courant de gâchette en non-allumage | I_{GI}
(mA) | 30 | | $T_{WJ} = 25^{\circ}\text{C}$ |
| 17 | Tension de gâchette d'allumage | V_{GT}
(V) | | 3 | $T_{WJ} = 25^{\circ}\text{C}$ |
| 18 | Caractéristique directe de gâchette | V_{GK} | 1 | 3 | $T_{WJ} = 25^{\circ}\text{C}$
$I_{GK} = 300 \text{ mA}$
Anode ouverte |
| 20 | Résistance thermique Jonction-boîtier | R_{JC} ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$) | | 0,018 | Continu |

| | | Unité | Min. | Max. | Conditions d'essai |
|----|---|--------------------------------|------|------|--|
| 23 | Tension à l'état passant, pour $I_p = 1500$ A | V_{TM}
(V) | | 2,2 | $T_{VJ} = 25^\circ\text{C}$
Impulsion Sinusoïdale
1500 A crête
$T = 10$ ms 1 Hz |
| 24 | Temps d'amorçage par la gâchette | $T_{(g)}$
(μs) | | 4,5 | $T_{VJ} = 25^\circ\text{C}$ |
| 25 | Temps de disparition par commutation | $t_{(g)}$
(μs) | | 20 | $T_{VJ} = 25^\circ\text{C}$
$F = 50$ Hz
$dI/dt = 50$ A/ μs
$R = 100\Omega$
$dV/dt = 20$ V/ μs
$V_D = 0,8 \cdot V_{DM}$
$\tau = 5$ ns |
| 26 | Vitesse critique de croissance de la tension à l'état bloqué | dV/dt
(V/ μs) | 100 | | $T_{VJ} = 175^\circ\text{C}$
$V_D = 0,8 \cdot V_{DM}$
Exponentielle
Gâchette ouverte |
| 27 | Vitesse critique de croissance du courant à l'état passant
$F = 50$ Hz | dI/dt
(A/ μs) | 100 | | |
| 28 | Vitesse de décroissance du courant | dI/dt
(A/ μs) | 100 | | $T_{VJ} = 25^\circ\text{C}$ |
| 29 | Charges stockées en inverse
$Q_{rr} = I_{rr} \cdot t_{rr}$ | Q_{rr}
(nC) | | 100 | $T_{VJ} = 25^\circ\text{C}$
1 Impulsion sinus
110V A crête
$dI/dt = 25$ A/ μs |

Important :

Équilibrage des Thyristors 2 par 2 avec même classe Qrr

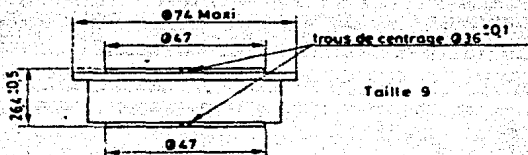
Code des classes de Qrr :

| | |
|-------|----------------|
| T 251 | Qrr \leq 80 |
| U 281 | Qrr \leq 110 |
| V 311 | Qrr \leq 140 |
| W 341 | Qrr \leq 170 |
| X 371 | Qrr \leq 200 |
| Y 401 | Qrr \leq 230 |
| Z 431 | Qrr \leq 260 |
| S 221 | Qrr \leq 150 |

JEUMONT-SCHNEIDER

263

Feuille 5/5

CARACTERISTIQUES THERISTORS D'APERT TYPE 1/2

- Les conducteurs de gachette et de rappel de cathode sont conformes au plan 5 614 186
- Etat de surface du boîtier :
 - 1°) Planéité : $\leq 0,02$ mm sur le \varnothing de la surface de contact
 - 2°) Rugosité : $Ra = 0,8$ (32 μ inch) après usinage de la surface
 - 3°) Parallélisme des faces : $\leq 0,4$ mm
- Finition du boîtier : Nickelé
- Brachéité du boîtier : N° 90.2.1
- Effort de serrage : 200 μ lb

LA FEUILLE N° 1 NE CONCERNE PAS LE FOURNISSEUR

JEUMONT-SCHNEIDER

5 614 263
Feuille 2/5

| NOM | ADRESSE | REFERENCE | ENCADREMENT
(ou montage) |
|---------|--|------------|-----------------------------|
| C.O.S.W | 255
AVENUE GEORGES DURAND
BP 107 72003 LE MANS | T9G0.20.09 | 2 603 120 |
| | | | |

| MATERIEL | APPLICATIONS | N° DU BLOC
CONSTRUCT. | DATE |
|----------|--------------|--------------------------|------|
| PEY7.ZT | | | |

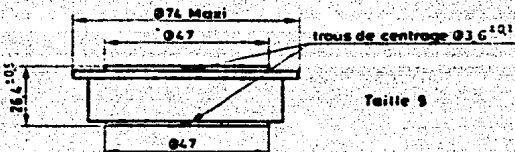
- FICHE DE RECEPTION : 5 614 534

- CONTROLE D'ENTREE :

NE PAS ENVOYER CETTE FEUILLE AUX FOURNISSEURS

| | | | | |
|--|--|--|--|---|
| | | | | 5 614 265 Feuille V/S
THYRISTORS COMMUTATEUR
 TRACTION FREINAGE
 TY.K.TR1/2-TY.K.FR 1/2 |
| | | | | 77.9.50 2 2 124
PATP - FR |

6 le 12.6.85
A 492 Mars 2000
1970-12-1



- Les conducteurs de garnette et de rappel de cathode sont conformes au plan S 614 186.
- Etat de surface du boîtier :
 - 1°/ Planité : $\leq 0,02 \text{ mm}$ sur le \varnothing de la surface de contact
 - 2°/ Rugosité : $R_a = 0,8$ (32 u. inche) après usinage de la surface
 - 3°/ Parallélisme des faces : $\leq 0,4 \text{ mm}$
- Finition du boîtier : Nickelé
- Etanchéité du boîtier : IPC No. 821
- Effort de serrage : 2346 daN

LA FEUILLE N° 1 NE CONCERNE PAS LE FOURNISSEUR

S JEUMONT-SCHNEIDER

S 614 265
Feuille 2/5

| N° | Paramètre | Symbole
unité | Min. | Max. | Conditions d'essai: |
|----|---|-------------------|------|----------|---|
| 1 | Tension inverse de pointe répétitive. | V_{IRM}
(V) | 2000 | | $T_{VJ} = 125^{\circ}\text{C}$
Gâchette ouverte |
| 2 | Tension inverse de pointe non répétitive | V_{PRM}
(V) | 2100 | | $T_{VJ} = 25^{\circ}\text{C}$
Gâchette ouverte |
| 3 | Courant inverse de pointe répétitive à V_{IRM} | I_{RIM}
(mA) | | 20
50 | $T_{VJ} = 25^{\circ}\text{C}$
$T_{VJ} = 125^{\circ}\text{C}$
Gâchette ouverte |
| 4 | Tension directe de pointe répétitive à l'état bloqué | V_{DRM}
(V) | 2000 | | $T_{VJ} = 125^{\circ}\text{C}$
Gâchette ouverte |
| 5 | Tension directe de pointe non répétitive à l'état bloqué. | V_{DRM}
(V) | 2100 | | $T_{VJ} = 25^{\circ}\text{C}$
Gâchette ouverte |
| 6 | Courant direct de pointe répétitive à l'état bloqué à V_{DRM} | I_{DIM}
(mA) | | 20
50 | $T_{VJ} = 25^{\circ}\text{C}$
$T_{VJ} = 125^{\circ}\text{C}$
Gâchette ouverte |
| 7 | Courant direct de pointe à l'état bloqué | I_{DIM}
(mA) | | 5 | $V_{DRM} = 400\text{ V}$
$T_{VJ} = 125^{\circ}\text{C}$
Gâchette ouverte |
| 8 | Essai en blocking-life sous tension continue 0,8 V _{DRM} | I_{DRM}
(mA) | | 50 | $T_{VJ} = 125^{\circ}\text{C}$ |
| | | I_{PRM}
(mA) | | 6 | Gâchette ouverte
Durée 4 heures |
| 9 | Courant non répétitif de surcharge à l'état passant | I_{SRM}
(mA) | 15 | | $T_{VJ} = 125^{\circ}\text{C}$
1 impulsion sinusoïdale
$T/2 = 10\text{ ms}$ |

| | | | | | |
|----|---------------------------------------|---|-------|---|---|
| 10 | Puissance de pointe de gâchette. | P_{GM}
(W) | 60 | | $T_{VJ} = 25^{\circ}\text{C}$
$t \leq 150\mu\text{s}$ à 50KHz |
| 11 | Puissance moyenne de gâchette. | P_{GAV}
(W) | 1 | | $T_{VJ} = 25^{\circ}\text{C}$ |
| 12 | Tension directe de pointe de gâchette | V_{DM}
(V) | 12 | | $T_{VJ} = 25^{\circ}\text{C}$
$t \leq 150\mu\text{s}$ à 50KHz |
| 13 | Tension inverse de pointe de gâchette | V_{PDM}
(V) | 5 | | $T_{VJ} = 25^{\circ}\text{C}$ |
| 14 | Courant direct de pointe de gâchette | I_{GM}
(A) | 4 | | $T_{VJ} = 25^{\circ}\text{C}$
$t \leq 150\mu\text{s}$ à 50KHz |
| 15 | Courant de gâchette d'allumage. | I_{IT}
(mA) | 200 | | $T_{VJ} = 25^{\circ}\text{C}$ |
| | | I_{IT}
(mA) | 400 | | $T_{VJ} = -40^{\circ}\text{C}$ |
| 16 | Courant de gâchette de non allumage. | I_{GN}
(mA) | 30 | | $T_{VJ} = 25^{\circ}\text{C}$ |
| 17 | Tension de gâchette d'allumage. | V_{IT}
(V) | 3 | | $T_{VJ} = 25^{\circ}\text{C}$ |
| 18 | Caractéristique directe de gâchette. | V_{DM}
(V) | 1 | 3 | $T_{VJ} = 25^{\circ}\text{C}$
$I_{GM} = 400\text{ mA}$
Anode ouverte |
| 20 | Résistance thermique | R_{JC}
($^{\circ}\text{C}/\text{W}$) | 0,318 | | Continu |
| 23 | Courant de maintien | I_{II}
(mA) | 50 | | $T_{VJ} = 25^{\circ}\text{C}$
$V_D = 30\text{ V}$
$I_{FD} > 0,5\text{ A}$
Gâchette ouverte |

| | | | | | |
|----|---|-----------------------------------|-----|-----|--|
| 23 | Tension à l'état passant
A pour $I_{TH} = 1500$ A crête | V_{TH}
(V) | 239 | 2 | $T_{WJ} = 25^{\circ}\text{C}$
1 impulsion.
1500 A crête
$\frac{t}{T} = 10$ ms
Mesure à 1500 A crête |
| 24 | Temps d'amorçage par la gâchette | T_{CR}
(μs) | | 13 | $T_{WJ} = 25^{\circ}\text{C}$ |
| 25 | Temps de désamorçage par commutation. | t_{σ}
(μs) | | 400 | $T_{WJ} = 125^{\circ}\text{C}$
$I_F = 250$ A @ 300 Hz
$di/dt = 50$ A/ μs
$V_R = 100$ V
$dv/dt = 20$ V/ μs
$V_D = 0,8$ V _{DM}
$f < 5$ Hz |
| 26 | Vitesse critique de croissance de la tension à l'état bloqué. | dV/dt
(V/ μs) | | 200 | $T_{WJ} = 125^{\circ}\text{C}$
$V_D = 0,8$ V _{DM}
Exponentielle
Gâchette ouverte |
| 27 | Vitesse critique de croissance du courant à l'état passant
$f = 600$ Hz. | dI/dt
(A/ μs) | | 200 | |

Fournisseurs

| NOI | ADRESSE 260 | REFERENCE | ENCAIEMENT
(ou montage) |
|---------|---|-------------|----------------------------|
| C.D.S.W | AVENUE GEORGES DURAND
BP 107 72003 LE MANS | R 960.20.13 | 2 603 120 |

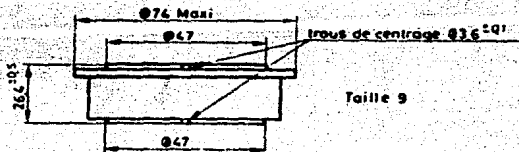
| MATERIEL | APPLICATIONS | N° D'ORDRE "ENSE"
CONSTRUCT. | N° A Y |
|----------|--------------|---------------------------------|--------|
| MF72.TT | | | |

- FICHE DE RECEPTION : 5 614 519

- CONTROLE D'ENTREE :

NE PAS ENVOYER CETTE FEUILLE AUX FOURNISSEURS

| | | |
|--|--|---|
| <p style="text-align: center;">5 JUILLET 1975
TELEPHONE 1579</p> <p style="text-align: right;">143 AVENUE DU PRESIDENT WILSON
92172 LA PLAINE ST DENIS 82553 13</p> <p style="text-align: center; font-size: 1.2em; font-weight: bold;">5 614 266</p> <p style="text-align: center; font-weight: bold;">DIODES COMMUTEUR
TRACTION FREINAGE
D.K. TR 1/2 - D.K. FR 1/2</p> | | Feuille 1/3 |
| | | <p style="text-align: center;">BENTAU PERRE
CITTE DE BOULCAEF</p> <p style="text-align: center; font-weight: bold; font-size: 1.2em;">RATP - FR</p> |
| <p>12-6-85</p> | | <p style="font-size: 1.2em; font-weight: bold;">77.9.50 2 2 125</p> |



- Etat de surface du boîtier :
 - 1° Planéité : $\leq 0,02$ mm sur le Ø de la surface de contact
 - 2° Rugosité : $R_a = 0,3$ (32 µ inche) après usinage de la surface
 - 3° Parallélisme des faces : $\leq 0,4$ mm
- Finition du boîtier : Nickelé
- Etanchéité du boîtier : NFC 96.821
- Effort de serrage : 2246 daN

LA FEUILLE N° 1 NE CONCERNE PAS LE FOURNISSEUR

| n° | Paramètre | Symbole
unité | Min | Max | Conditions d'essais |
|----|--|---|------|----------|--|
| 1 | Tension inverse de pointe
répétitive | V_{RM}
(V) | 2000 | | $T_{WJ} = 150^{\circ}\text{C}$ |
| 2 | Tension inverse de pointe
non répétitive | V_{PM}
(V) | 2100 | | $T_{WJ} = 25^{\circ}\text{C}$ |
| 3 | Courant inverse de pointe
répétitive | I_{RM}
(mA) | | 25
50 | $T_{WJ} = 25^{\circ}\text{C}$
$T_{WJ} = 150^{\circ}\text{C}$ |
| 4 | Courant inverse de pointe
pour $V_{RM} = 400\text{ V}$ | I_{RM}
(mA) | | 4 | $T_{WJ} = 125^{\circ}\text{C}$
$V_{RM} = 400\text{ V}$ |
| 5 | Courant moyen | I_m
(A) | | 1300 | $T_{WJ} = 150^{\circ}\text{C}$ |
| 6 | Tension à l'état passant
à $I_p = 1500\text{ A}$ | V_{Tm}
(V) | | 1,45 | $T_{WJ} = 25^{\circ}\text{C}$
1 impulsion 1500 A
crête. |
| 7 | Résistance thermique | $R_{\theta j-c}$
($^{\circ}\text{C}/\text{W}$) | | 0,088 | Continu |
| 9 | Courant non répétitif de
surcharge | I_{SM}
(mA) | 16 | | $T_{WJ} = 150^{\circ}\text{C}$
1 impulsion sinusol
dale.
$T/2 = 10\text{ ms}$. |
| 10 | Essai en blocking life pour
tension continue 0,8 V V_{RM} | I_{DM}
(mA)
ΔI_{DM}
(mA) | | 50
1 | $T_{WJ} = 125^{\circ}\text{C}$
Durée 4 heures |

| NOM | ADRESSE 263 | REFERENCE | Encadrement
ou montage |
|------|--|---------------|--------------------------------|
| COSW | Av. Georges Durand
BP 107 72003 LE MANS | TA SN.22.1432 | 2 503 120 (1)
1 500 003 (1) |
| | | | |

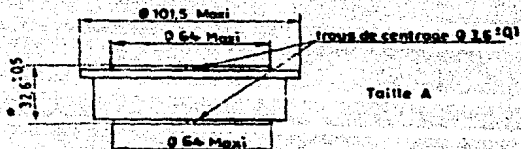
| MATERIEL | APPLICATIONS | N° DU DESSIN
CONSTRUCT. | N° DES
PIÈCES |
|----------|--------------|----------------------------|------------------|
| ME77TT | | | |

- FICHE DE RECEPTION : 5 614 535

- CONTROLE D'ENTREE :

NE PAS ENVOYER CETTE FEUILLE AUX FOURNISSEURS

| | | | | | |
|------------|--|---|--|--|--|
| | | SOCIÉTÉ
TECHNIQUE | | 10 AVENUE DU PRÉSIDENT ANSON
51213 L'APRÈVE ST THAIS 52013 33 | |
| | | 5 614 261 | | Feuille V6 | |
| | | THYRISTORS DE MARCHE ET D'INVERSIQ
TY.MR - TY.IV | | | |
| | | RÉGION PARISIENNE | | RATP - FR | |
| | | 77.9.50 2 2 120 | | | |
| E 12-4-85 | | | | | |
| C 15.02.84 | | | | | |
| B 19 05 83 | | | | | |
| A 14 06 82 | | | | | |



* Epaisseur du SC après pressage sur radiateur.

- Les conducteurs de garnette et de rappel de cathode sont conformes au plan 5 614 186

- Etat de surface du boîtier :

1°) Planéité : $\leq 0,07 \text{ mm}$ sur le \varnothing de la surface de contact

2°) Rugosité : $Ra = 0,8$ (μ inch) après usinage de la surface

3°) Parallélisme des faces : $\leq 0,1 \text{ mm}$

- Finition du boîtier : Nickelé

- Etanchéité du boîtier : FFC 96.821

- Effort de serrage : 4500 daN

LA FEUILLE N° 1 NE CONCERNE PAS LE FOURNISSEUR

JEUMONT-SCHNEIDER

5 614 251
Feuille 2/6

| N° | Paramètre | Symbole
unité | Min. | Max. | Conditions d'ess- |
|----|---|--|------|-----------------|---|
| 1 | Tension inverse de pointe
répétitive. | V_{RPM}
(V) | 2200 | | $T_{VJ} = 125^{\circ}\text{C}$
Gâchette ouverte |
| 2 | Tension inverse de pointe
non répétitive. | V_{RSM}
(V) | 2200 | | $T_{VJ} = 25^{\circ}\text{C}$
Gâchette ouverte |
| 3 | Courant inverse de pointe
répétitive à V_{RPM}
à 1000 V | I_{RPM}
(mA) | | 45
150
30 | $T_{VJ} = 25^{\circ}\text{C}$
$T_{VJ} = 125^{\circ}\text{C}$ Gâchette
ouverte
$T_{VJ} = 125^{\circ}\text{C}$ |
| 4 | Tension directe de pointe
répétitive à l'état bloqué | V_{DPM}
(V) | 2200 | | $T_{VJ} = 125^{\circ}\text{C}$
Gâchette ouverte |
| 5 | Tension directe de pointe
non répétitive à l'état
bloqué. | V_{DSM}
(V) | 2200 | | $T_{VJ} = 25^{\circ}\text{C}$
Gâchette ouverte |
| 6 | Courant direct de pointe
répétitive à l'état bloqué
à V_{DPM}
à 1000 V | I_{DPM}
(mA) | | -5
150
30 | $T_{VJ} = 25^{\circ}\text{C}$
$T_{VJ} = 125^{\circ}\text{C}$ Gâchette
ouverte
$T_{VJ} = 125^{\circ}\text{C}$ |
| 7 | Courant de pointe
répétitive à l'état
bloqué. | I_{PM}
(mA) | | 20 | $T_{VJ} = 125^{\circ}\text{C}$

$V_D = 600\text{ V}$
Gâchette ouverte. |
| 8 | Essai en blocking-test
sous-tension continue
C.B. à V_{DPM} | I_{DPM}
(mA)

I_{RPM}
(mA) | | 80
7 | $T_{VJ} = 125^{\circ}\text{C}$
Durée 4 heures
Gâchette ouverte |
| 9 | Courant non répétitif
de surcharge à l'état
passant. | I_{FSM}
(mA) | 20 | | $T_{VJ} = 125^{\circ}\text{C}$
1 impulsion sinus-
oïde.
$T/2 = 10\text{ ms}$. |

| | | | | |
|----|---|--------------------------------|-------|--|
| 10 | Puissance de pointe de gâchette. | P_{GM}
(W) | 60 | $T_{VJ} = 25^{\circ}C$
$t \leq 150\mu s$ à 50Hz |
| 11 | Puissance moyenne de gâchette. | P_{GAV}
(W) | 6 | $T_{VJ} = 25^{\circ}C$ |
| 12 | Tension directe de pointe de gâchette | V_{DCM}
(V) | 15 | $T_{VJ} = 25^{\circ}C$
$t \leq 150\mu s$ à 50Hz |
| 13 | Tension inverse de pointe de gâchette | V_{BGM}
(V) | 5 | $T_{VJ} = 25^{\circ}C$ |
| 14 | Courant direct de pointe de gâchette | I_{GTM}
(A) | 4 | $T_{VJ} = 25^{\circ}C$
$t \leq 150\mu s$ à 50Hz |
| 15 | Courant de gâchette d'allumage. | I_{GT}
(mA) | 100 | $T_{VJ} = 25^{\circ}C$ |
| | | I_{GT}
(mA) | 600 | $T_{VJ} = -40^{\circ}C$ |
| 16 | Courant de gâchette de non allumage. | I_{GN}
(mA) | 60 | $T_{VJ} = 25^{\circ}C$ |
| 17 | Tension de gâchette d'allumage. | V_{GT}
(V) | 3 | $T_{VJ} = 25^{\circ}C$ |
| 18 | Caractéristique directe de gâchette. | V_{GT}
(V) | 1 | $T_{VJ} = 25^{\circ}C$
$I_{GN} = 400$ mA
Anode ouverte |
| 20 | Résistance thermique Jonction-Peltier | R_{j-c}
($^{\circ}C/W$) | 0,0:5 | |
| 23 | Pertes totales en VF et par commutation | (W) | 1500 | $T_{VJ} = 125^{\circ}C$
$I = 1100$ A
$t = 1,3$ ms à 600 Hz
$\frac{di}{dt} on = 100$ A/ μs env.
$\frac{di}{dt} off = 150$ A/ μs env.
13. |

| | | | | |
|----|---|--------------------------|--------|--|
| 24 | Temps d'amorçage par la gâchette. | T_{ON}
(μs) | 4,5 | $T_{WJ} = 25^{\circ}C$ |
| 25 | Temps de désamorçage par commutation. | t_f
(μs) | 55 | $T_{WJ} = 125^{\circ}C$
$I_P = 100 A$ $t_P = 300 \mu s$
$dI/dt = 50 A/\mu s$
$V_B = 100 V$
$dV/dt = 20 V/\mu s$
$V_D = 0,8 V$ <small>DIM</small>
$f \leq 5 Hz$ |
| 26 | Vitesse critique de croissance de la tension à l'état bloqué. | dV/dt
($V/\mu s$) | > 100 | $T_{WJ} = 125^{\circ}C$
$V_D = 0,8 V$ <small>DRM</small>
Exponentielle
Gâchette ouverte |
| 27 | Vitesse critique de croissance du courant à l'état passant.
$f = 600 Hz$ | dI/dt
($A/\mu s$) | 300 | |
| 28 | Vitesse de décroissance du courant à l'état passant.
$f = 600 Hz$ | dI/dt
($A/\mu s$) | 150 | |
| 29 | Charge stockée en inverse
$I_{PR} = I_P (t_f + 2t_{\sigma})/2$ | Q_{SR}
(μC) | 200,00 | $T_{WJ} = 25^{\circ}C$
Impulsion rectangulaire de 300 A pendant $t = 200 \mu s$
$dI/dt = 100 A/\mu s$
$dV/dt =$
$R_{\sigma} = 0,2 \Omega$ $C = 0,22 \mu F$ |

DÉSIGNATIONS POUR SEMI-CONDUCTEURS CDSM

1 - Thyristors de marche et d'inversion TYMR-TY IV

Spécification N° 5 614 261

| N° | Paramètre | Symbole
unité | Min. | Max. | Conditions d'essai |
|----|---|------------------|------|------|---|
| 23 | Tension à l'état passant à 1500A | V_{T1}
(V) | | 1,45 | $T_{VJ} = 25^{\circ}\text{C}$
1 impulsion sinus
dure de 1500A crs
$T/2 = 10 \mu\text{s}$ |
| 3 | Courant inverse de pointe répétitif à V_{DRM} | I_{RM}
(A) | | 250 | $T_{VJ} = 125^{\circ}\text{C}$
gâchette ouverte |
| 6 | Courant direct de pointe répétitif à V_{DRM} | I_{DM}
(A) | | 250 | $T_{VJ} = 125^{\circ}\text{C}$
gâchette ouverte |

5 614 261

Feuille 6/6

| MARCA DE LA LINEA | TIPO DE CABLE (LONGITUD) | ORIGEN DEL CABLE | DESLENDE EN EL ORIGEN | TERMINAL A UTILIZAR | DESTINO DEL CABLE | DESLENDE | TERMINAL A UTILIZAR | OBSERVACIONES |
|-------------------|--|-------------------|-----------------------|---------------------|--------------------------|---------------------------------------|---------------------|---------------|
| | | ORIGEN | | | DESTINO | | | |
| A700 | 2x95 ²
1500 SH
(2x3m) | KPT
(OD1) | M12 | | Cofre KPT
F.T. | M10 | | |
| 701 | 2x95 ²
1500 SH
(2x6m) | Cofre 2
OSG | M10 | | Cofre DJ | M10 | | |
| 774 | 2x95 ²
1500 SH
(2x3m) | KPT
(OD1) | M12 | | Cofre 2
SIC | M12
(por no
existir)
(o M10) | | |
| A770/116 | 2x95 ²
1500 SH
(2x7m) | Cofre 2
SIC | M10 | | Bloque SC
(marca 716) | M8 | | |
| 1774 | 2x95 ²
1500 SH
(2x) | Bloque SC | M8 | | Cofre 3
RCL+RCL2 | M4 | | |
| D774 | 2x95 ²
1500 SH
(2x5m) | Bloque SC | M8 | | Self L.L.L
(o Lo) | M8 | | |
| 702 | 2x95 ²
1500 SH
(2x5m) | Self L.F1
o Lo | M8 | | Cofre DJ
DYE | M10 | | |
| 703 | 2x95 ²
1500 SH
(6m) | USC | M8 | | Cofre 1
CLC | M6 | | 28 terminos |

| MARCA LA UNIDAD | TIPO DE CABLE (CROSS SECTION) | ORIGEN DEL CABLE | DESTINO EN EL ORIGEN | TERMINAL A UTILIZAR | DESTINO DEL CABLE | DESTINO | TERMINAL A UTILIZAR | OBSERVACIONES |
|-----------------|---------------------------------------|--------------------------|----------------------|---------------------|------------------------|---------|-------------------------|---|
| | | ORIGEN | | | DESTINO | | | |
| B716/770 | 2,5 ²
1500SH
(5m) | Cofre 2
Barra. III | M4 | | Cofre 1
RUL | M4 | | |
| A731/720B | 2x95 ²
1500SH
(2x7m) | BSC | M8 | | Cofre DJ
DIM | M10 | | |
| 0730/720B | 95 ²
1500SH
(9m) | BSC | M8 | | BCC
DELANTE | M10 | Terminal futura
J.S. | terminal p.
5007363 +
funda NLSB
GRIP 8-45
serie fuer:
longr. 70 |
| C730/720B | 2x95 ²
1500SH
(6m) | BSC | M8 | | BCC DETRAS | M10 | Terminal futura
J.S. | |
| 723 | 2x95 ²
1500SH
(2x7m) | BSC | M8 | | SELF DC
ALTSERVICIO | M8 | | |
| 729/720A | 2x95 ²
1500SH
(2x7m) | SELF DC
ALTSERVICIO | M8 | | Cofre DJ
DIM | M10 | | |
| 770/435E | 10 ²
1500SH
(5m) | NOC | M8 | | Cofre 4
195 | M5 | | |
| 729 | 2,5 ²
1500SH
(4m) | Cofre 2
CPU 5
(4m) | M4 | | Cofre DJ
DIM | M4 | | 72 terminales |

| MARCA DE LA UNIDAD | TIPO DE CABLE (Lg./TUD) | ORIGEN DEL CABLE | DESLINDE EN EL ORIGEN | TERMINAL A UTILIZAR | DESTINO DEL CABLE | DESLINDE | TERMINAL A UTILIZAR | OBSERVACIONES |
|--------------------|------------------------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|-------------------|----------|----------------------------|--|
| | | ORIGEN | | | DESTINO | | | |
| 707 | 10 ²
1500SH
(5c) | Cofre 2
Mes EN12 | M4 | | BCC
DELANTE | M10 | Terminal
futura
J.S. | Terminal con
parrn tornillo
#10 con redu-
tor para cable
10 ² (EN12) -
funda 5692963
23serie fue-
to ler. 70 |
| 708 | 10 ²
1500SH
(10c) | Cofre 2
Mes EN14 | M4 | | BCC
DETRAS | M10 | Terminal
futura
J.S. | " |
| 715/715 | 95 ²
1500SH
(9c) | BSC | M8 | | BCC
DELANTE | M10 | Terminal
futura
J.S. | Terminal plan
5692963 funda
KIDGRIPP " |
| 713/709 | 95 ²
1500SH
(9c) | BSC | M8 | | BCC
DELANTE | M10 | " | " 21 |
| 715/705 | 95 ²
1500SH
(9c) | BSC | M8 | | BCC
DELANTE | M10 | " | " |
| 715 | 95 ²
1500SH
(9c) | BSC | M8 | | BCC
DETRAS | M10 | " | " |
| 714/706 | 95 ²
1500SH
(9c) | BSC | M8 | | BCC
DETRAS | M10 | " | " |
| 716/710 | 95 ²
1500SH
(9c) | BSC | M8 | | BCC
DETRAS | M10 | " | " |

16terminales

| PUNTO DE LA UNIDAD | TIPO DE CABLE (+ LONGITUD) | ORIGEN DEL CABLE | DESLINDE EN EL ORIGEN | TERMINAL A UTILIZAR | DESTINO DEL CABLE | DESLINDE | TERMINAL A UTILIZAR | OBSERVACIONES |
|--------------------|--------------------------------------|-------------------|--------------------------|---------------------|-------------------|----------|---------------------|--|
| | | ORIGEN | | | DESTINO | | | |
| 5760 | 2,5 ²
1500GH
(7x30) | Cofre
MP
FF | M10 | | Cofre 2
(SG) | M10 | | |
| | | | CAMBIO EN FINO DEL COFRE | | | | | |
| 716/770 | 2,5 ²
1500GH
(6,5m) | Mes EM 34
CTU9 | M4 | | SIC | M4 | | agujero 05 a
taladrar de
conexión de
salida SIC |
| 716/770 | 2,5 ²
1500GH
(6,5m) | Mes EM12
CTU8 | M4 | | SIC | M4 | | |
| 716/770 | 2,5 ²
1500GH
(6,5m) | Mes EM11
CTU5 | M4 | | SIC | M4 | | agujero 04 a
taladrar de
conexión de
salida SIC |
| 716/770 | 2,5 ²
1500GH
(6,5m) | Mes eUL
CTU1 | M4 | | SIC | M4 | | |
| 8750 | 2,5 ²
1500GH
(6,5m) | Mes e UL
CTU1 | M4 | | CGG | M4 | | agujero 05 a
de conexión
CGG |

16 terminales

A N E X O D

MANUAL DE CONFIABILIDAD

Cálculo de λ_b para tiristores.

De acuerdo al manual "Reliability Prediction of Electronic Equipment"

λ_b : es la confiabilidad base expresada por un modelo que relaciona la característica eléctrica con la temperatura.

Para el cálculo de λ_b se usa la tabla 5.1.3.6-2.

La relación de esfuerzo (stress ratio) para diodos y tiristores de propósito general es:

$$S = \frac{I_{op}}{I_{m\acute{a}x}} (CF) \dots (1)$$

donde

I_{op} : Corriente media de operación

$I_{m\acute{a}x}$: Corriente máxima promedio del dispositivo

CF: Factor de corrección

tenemos que

$$I_{op} = 770[A]$$

$$I_{m\acute{a}x} = 1600[A]$$

Para CF de la página 5.1.3.11-6, considerándose el caso (c), se tiene que:

$$CF = \frac{T_{m\acute{a}x} - 25}{150}$$

donde

$T_{m\acute{a}x}$: Temperatura máxima de la unión = 125°C

entonces:

$$CF = \frac{125 - 25}{150} = 0.66$$

para entrar a la tabla 5.1.3.6-4 que nos dará el valor de λ_b se necesita obtener T y S.

$$T = T_a + (175 - T_{\max})$$

donde

T: Temperatura de entrada a la tabla

T_a : Temperatura ambiente

y si se considera que $T_a = 55^\circ\text{C}$

sustituyendo valores:

$$T = 55 + (175 - 125) = 80^\circ\text{C}$$

Sustituyendo en la ecuación (1)

$$S = \frac{770}{1600} (0.66) = 0.31$$

con los valores de S y T entramos a la tabla 5.1.3.6-4 encontrando finalmente, que:

$$\lambda_b = 0.0065 \text{ fallas por un millón de horas.}$$

MIL-HDBK-217D

15 JANUARY 1982

SUPERSEDING**MIL-HDBK-217C****9 APRIL 1979****MILITARY HANDBOOK****RELIABILITY PREDICTION
OF
ELECTRONIC EQUIPMENT****NO DELIVERABLE DATA REQUIRED BY THIS DOCUMENT****FSC-RELI**

Cálculo de λ_b para tiristores.

De acuerdo al manual "Reliability Prediction of Electronic Equipment"

λ_b : es la confiabilidad base expresada por un modelo que relaciona la característica eléctrica con la temperatura.

Para el cálculo de λ_b se usa la tabla 5.1.3.6-2.

La relación de esfuerzo (stress ratio) para diodos y tiristores de propósito general es:

$$S = \frac{I_{op}}{I_{m\acute{a}x}} (CF) \dots (1)$$

donde

I_{op} : Corriente media de operación

$I_{m\acute{a}x}$: Corriente máxima promedio del dispositivo

CF: Factor de corrección

tenemos que

$$I_{op} = 770[A]$$

$$I_{m\acute{a}x} = 1600[A]$$

Para CF de la página 5.1.3.11-6, considerándose el caso (c), se tiene que:

$$CF = \frac{T_{m\acute{a}x} - 25}{150}$$

donde

$T_{m\acute{a}x}$: Temperatura máxima de la unión = 125°C

entonces:

$$CF = \frac{125 - 25}{150} = 0.66$$

para entrar a la tabla 5.1.3.6-4 que nos dará el valor de λ_b se necesita obtener T y S.

$$T = T_a + (175 - T_{\max})$$

donde

T: Temperatura de entrada a la tabla

T_a : Temperatura ambiente

y si se considera que $T_a = 55^\circ\text{C}$

sustituyendo valores:

$$T = 55 + (175 - 125) = 80^\circ\text{C}$$

Sustituyendo en la ecuación (1)

$$S = \frac{770}{1600} (0.66) = 0.31$$

con los valores de S y T entramos a la tabla 5.1.3.6-4 encontrando finalmente, que:

$$\lambda_b = 0.0065 \text{ fallas por un millón de horas.}$$

MIL-HDBK-217D

15 JANUARY 1982

SUPERSEDING**MIL-HDBK-217C****9 APRIL 1979****MILITARY HANDBOOK****RELIABILITY PREDICTION
OF
ELECTRONIC EQUIPMENT****NO DELIVERABLE DATA REQUIRED BY THIS DOCUMENT****FSC-RELI**

failure rate model. These environments encompass the major areas of equipment use. Some equipment will experience more than one environment during its normal use, e.g., equipment in spacecraft. In such a case, the reliability analysis should be segmented, namely, missile launch (M₁) conditions during boost into and return from orbit, and space flight (S₁) while in orbit.

TABLE 5.1.1-3 ENVIRONMENTAL SYMBOL AND DESCRIPTION

| ENVIRONMENT | R _F
SYMBOL | DESCRIPTION |
|----------------|--------------------------|--|
| Ground, Benign | G _B | Nonmobile, laboratory environment readily accessible to maintenance; includes laboratory instruments and test equipment, medical electronic equipment, business and scientific computer complexes. |
| Ground, Fixed | G _F | Conditions less than ideal such as installation in permanent racks with adequate cooling air and possible installation in unheated buildings; includes permanent installation of air traffic control, radar and communications facilities, and missile s/w ground support equipment. |
| Ground, Mobile | G _M | Equipment installed on wheeled or tracked vehicles; includes tactical missile ground support equipment, mobile communication equipment, tactical fire direction systems. |
| Space, Flight | S _F | Earth orbital. Approaches benign ground conditions. Vehicle neither under powered flight nor in atmospheric reentry; includes satellites and shuttles. |
| Manpack | M _P | Portable electronic equipment being manually transported while in operation; includes portable field communications equipment and laser designations and rangefinders. |

MIL-HDBK-217D
15 January 1982

TABLE 5.1.1-3 ENVIRONMENTAL SYMBOL AND DESCRIPTION (Cont)

| ENVIRONMENT | RE SYMBOL | DESCRIPTION |
|----------------------------------|-----------------|--|
| Naval, Sheltered | N _S | Sheltered or below deck conditions, protected from protected from weather; includes surface ships communication, computer, and sonar equipment. |
| Naval Unsheltered | N _U | Nonprotected surface shipborne equipment exposed to weather conditions; includes most mounted equipment and missile/projectile fire control equipment. |
| Naval Undersea Unsheltered | N _{UU} | Equipment immersed in salt water; includes sonar sensors and special purpose anti-submarine warfare equipment. |
| Naval, Submarine | N _{SB} | Equipment installed in submarines; includes navigation and launch control systems. |
| Naval, Hydrofoil | N _H | Equipment installed in a hydrofoil vessel. |
| Airborne, Inhabited, Transport | A _{IT} | Typical conditions in transport or bomber compartments occupied by aircrew without environmental extremes of pressure, temperature, shock and vibration, and installed on long mission aircraft such as transports or bombers. |
| Airborne, Inhabited, Fighter | A _{IF} | Same as A _{IT} but installed on high performance aircraft such as fighters and interceptors. |
| Airborne, Uninhabited, Transport | A _{UT} | Bomb bay, equipment bay, tail, or where extreme pressure, vibration, and temperature cycling may be aggravated by contamination from oil, hydraulic fluid and engine exhaust. Installed on long mission aircraft such as transports and bombers. |
| Airborne, Uninhabited, Fighter | A _{UF} | Same as A _{UT} but installed on high performance aircraft such as fighters and interceptors. |

TABLE 5.1.1-3 ENVIRONMENTAL SYMBOL AND DESCRIPTION (Cont)

| ENVIRONMENT | R _E SYMBOL | DESCRIPTION |
|------------------------------|-----------------------|---|
| Airborne, Rotary Winged | R _{RW} | Equipment installed on helicopters; includes laser designators and fire control systems. |
| Missile, Launch | R _L | Severe conditions related to missile launch (air and ground), and space vehicle boost into orbit, vehicle re-entry and landing by parachute. Conditions may also apply to rocket propulsion powered flight. |
| Cannon, Launch | R _L | Extremely severe conditions related to cannon launching of 155 mm. and 5 inch guided projectiles. Conditions apply from launch to target impact. |
| Undersea, Launch | R _{SL} | Conditions related to undersea torpedo mission and missile launch. |
| Missile, Free Flight | R _{FF} | Missiles in non-powered free flight. |
| Airbreathing Missile, Flight | R _{FA} | Conditions related to powered flight of air breathing missile; includes cruise missiles. |

5.1.1.4 Part Failure Rate Models. Part failure rate models for microelectronic parts are significantly different from those for other parts and are presented entirely in Section 5.1.2. Another type of model is used on most other parts; a typical example is the following one for discrete semiconductors:

$$\lambda_p = \lambda_b (R_E \times R_A \times R_{SZ} \times R_C \times R_Q)$$

where

λ_p is the part failure rate,

λ_b is the base failure rate usually expressed by a model relating the influence of electrical and temperature stresses on the part,

R_E and the other R factors modify the base failure rate for the category of environmental application and other parameters that affect the part reliability.

TABLE 5.1.1-4

II FACTORS FOR PART FAILURE RATE MODELS EXCEPT MICROELECTRONICS

| II FACTOR | DESCRIPTION |
|---|--|
| Common Factors - Used in all or many part categories | |
| π_E | Environment - Accounts for influence of environmental factors other than temperature. Related to application categories (Table 5.1.1-3). |
| π_Q | Quality - Accounts for effects of different quality levels. |
| Discrete Semiconductors | |
| π_A | Application - Accounts for effect of application in terms of circuit function. |
| π_R | Rating - Accounts for effect of maximum power or current rating. |
| π_C | Complexity - Accounts for effect of multiple devices in a single package. |
| π_{S2} | Voltage Stress - Adjusts model for a second electrical stress (application voltage) in addition to wattage included within λ_b . |
| π_F | Frequency and peak operating power factor. |
| π_T | Temperature - Accounts for effects of temperature. |
| π_M | Matching networks - Accounts for effects of type of matching networks. |

MIL-HDBK-217B
15 January 1982
DISCRETE SEMICONDUCTOR
THYRISTOR

5.1.3.6 Diodes, Group VI

SPECIFICATION
MIL-STD-19500

TITLE

DESCRIPTION
Thyristors

Part operating failure rate model (λ_p):

$$\lambda_p = \lambda_b + \lambda_q + \lambda_g + \lambda_r \text{ failures}/10^6 \text{ hours}$$

where the factors are shown in Tables 5.1.3.6-1 through 4.

TABLE 5.1.3.6-1

Group VI Diodes
Environmental Mode Factors

| Environment | λ_g |
|-------------|-------------|
| C0 | 1 |
| Sp | 1 |
| Cp | 3.9 |
| PSB | 5.8 |
| Ms | 8.7 |
| ATT | 12 |
| Mp | 12 |
| Myy | 12 |
| MVA | 17 |
| C01 | 18 |
| Mg | 19 |
| MUJ | 28 |
| AUT | 28 |
| MU | 21 |
| AIS | 25 |
| AMU | 27 |
| USL | 36 |
| AUF | 40 |
| WL | 41 |
| C1 | 690 |

TABLE 5.1.3.6-2
 λ_q , Quality Factor

| Quality Level | λ_q |
|---------------|-------------|
| JANIXV | .5 |
| JANIXE | 1.0 |
| JAN | 5.0 |
| Lower* | 25. |
| Plastics** | 50. |

*Hermetic packaged devices.

**Devices sealed or encapsulated
with organic material.

TABLE 5.1.3.6-3
 λ_r FOR GROUP VI THYRISTORS

| Rated Average
Forward Anode Current
(amps.) | λ_r |
|---|-------------|
| ≤ 1 | 1 |
| > 1 to 2 | 3 |
| > 2 to 25 | 10 |
| > 25 to 50 | 15 |

MIL-HDBK-217D
15 January 1982
DISCRETE SEMICONDUCTORS
THYRISTOR

TABLE 5.1.3.6-4
MIL-S-19500, GROUP VI, THYRISTORS
BASE FAILURE RATE, λ_b , IN FAILURES PER 10^6 HOURS

| T
(°C) | S | | | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| | .1 | .2 | .3 | .4 | .5 | .6 | .7 | .8 | .9 | 1.0 |
| 0 | .0006 | .0009 | .0013 | .0018 | .0024 | .0033 | .0044 | .0059 | .0081 | .011 |
| 10 | .0008 | .0012 | .0016 | .0022 | .0030 | .0038 | .0053 | .0072 | .010 | .014 |
| 20 | .0010 | .0015 | .0020 | .0027 | .0036 | .0048 | .0065 | .0090 | .012 | .017 |
| 25 | .0012 | .0016 | .0022 | .0030 | .0039 | .0053 | .0072 | .010 | .014 | .022 |
| 30 | .0013 | .0018 | .0024 | .0033 | .0044 | .0059 | .0081 | .011 | .017 | |
| 40 | .0016 | .0022 | .0030 | .0039 | .0053 | .0072 | .010 | .014 | .022 | |
| 50 | .0020 | .0027 | .0036 | .0048 | .0065 | .0090 | .012 | .017 | | |
| 55 | .0022 | .0030 | .0039 | .0053 | .0072 | .010 | .014 | .022 | | |
| 60 | .0024 | .0033 | .0044 | .0059 | .0081 | .011 | .017 | | | |
| 65 | .0027 | .0036 | .0048 | .0065 | .0090 | .012 | .019 | | | |
| 70 | .0030 | .0039 | .0053 | .0072 | .010 | .014 | .022 | | | |
| 75 | .0033 | .0044 | .0059 | .0081 | .011 | .017 | | | | |
| 80 | .0036 | .0048 | .0065 | .0090 | .012 | .019 | | | | |
| 85 | .0039 | .0053 | .0072 | .010 | .014 | .022 | | | | |
| 90 | .0044 | .0059 | .0081 | .011 | .017 | | | | | |
| 95 | .0048 | .0065 | .0090 | .012 | .019 | | | | | |
| 100 | .0053 | .0072 | .010 | .014 | .022 | | | | | |
| 105 | .0059 | .0081 | .011 | .017 | | | | | | |
| 110 | .0065 | .0090 | .012 | .019 | | | | | | |
| 115 | .0072 | .010 | .014 | .022 | | | | | | |
| 120 | .0081 | .011 | .017 | | | | | | | |
| 125 | .0090 | .012 | .019 | | | | | | | |
| 130 | .010 | .014 | .022 | | | | | | | |
| 135 | .011 | .017 | | | | | | | | |
| 140 | .012 | .019 | | | | | | | | |
| 145 | .014 | .022 | | | | | | | | |
| 150 | .017 | | | | | | | | | |
| 155 | .019 | | | | | | | | | |
| 160 | .022 | | | | | | | | | |

MIL-HDBK-2170
15 January 1982
DISCRETE SEMICONDUCTORS

5.1.3.11 Instructions for Use of Semiconductor Models.

5.1.3.11.1 Device Ratings. Transistors are normally rated at maximum power dissipation and diodes at maximum current permissible. Usually each device is given two temperature rating points:

1. T_{MAX} - Maximum permissible junction temperature.
2. T_S - Maximum ambient or case temperature at which 100 percent of the rated load can be dissipated without causing the specified maximum junction temperature to be exceeded. (Case temperatures are given primarily for power devices used on heat sinks.)

As the ambient or case temperature rises above the T_S value, the internal temperature rise (i.e., the power load) must be decreased so that the T_{MAX} is not exceeded. This is illustrated in Figure 5.1.3.11-1.

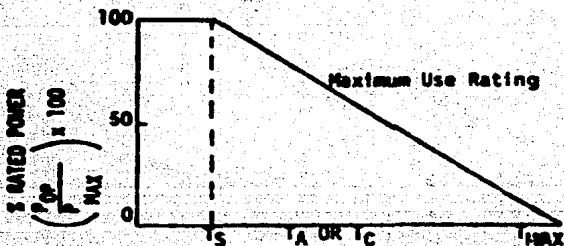


FIGURE 5.1.3.11-1. Conventional Derating Curve

- Note:
- T_S = temperature at which derating begins
 - T_{MAX} = maximum rated junction temperature
 - T_A = ambient temperature
 - T_C = case temperature

P_{OP} = actual power dissipated

P_{MAX} = maximum rated power at T_S

Maximum junction temperature (T_{MAX}) is normally 175 or 200°C for silicon and 100°C for germanium devices. T_S is usually 25°C, but it can be higher.

Some devices have a multipoint derating curve as shown by the solid line in the example of Figure 5.1.3.11-2. The failure rate of a device with multipoint derating can be estimated with the present models by assuming the device to be linearly derated from T_S to T_{MAX} as shown by the dashed line. The use of this assumption will result in a predicted failure rate higher than that the device might actually experience, with the amount of error dependent upon the difference between the two rating values where T_S intersects the assumed and actual rating plots.

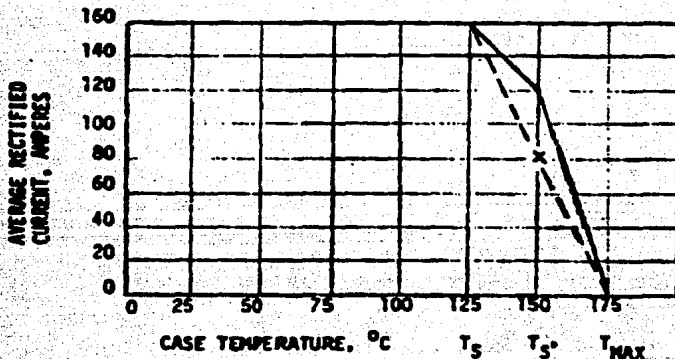


Figure 5.1.3.11-2 Multipoint Derating Curve for IN3263 Power Diode

Since semiconductors may be rated based upon ambient or case temperatures, the following guidance is included for calculating base failure rates:

1. No Heat Sink Used and Ambient Rating Known - Calculate stress and temperature (if necessary) per paragraph 5.1.3.11.2 and use base failure rate table.

- 2 No Heat Sink Used and Only Case Rating Known - If device rating based upon ambient temperature cannot be determined, calculate the base failure rate as in 1 above and multiply by 10.
- 3 Heat Sink Used and Case Rating Known - Calculate base failure rate as in 1 above.
- 4 Heat Sink Used and Only Ambient Rating Known - If device rating based upon case temperature cannot be determined, calculate base failure rate as in 1 above.

5.1.3.11.2 Determining Appropriate Stress Ratio and Temperature.

The base failure rate tables are based upon ambient or case temperature (T degrees C) and electrical stress ratio (S). The following instructions show the methods for calculating S. In some cases, the operating ambient or case T must be corrected before entering the failure rate tables. These corrections, where needed, are indicated in (7) below. Operating junction temperatures do not have to be calculated to use the models.

(1) Groups I, II & III Transistors.

a. Single device in case.

$$\text{For Silicon, } S = \frac{P_{OP}}{P_{MAX}} \quad (\text{C.F.}) \quad \text{For Germanium, } S = \frac{P_{OP}}{P_{MAX}}$$

where:

P_{OP} = actual power dissipated

P_{MAX} = maximum rated power at T_S

C.F. = stress correction factor per (7) below

b. Dual device in single case (equally rated).

$$S = \left[\frac{P_1}{P_S} + P_2 \left(\frac{2P_S - P_T}{P_T \times P_S} \right) \right] (\text{C.F.})$$

where:

S = stress ratio of side being evaluated

P_1 = power dissipation in side being evaluated

- P_2 = power dissipation in other side of device
- P_S = maximum power rating at T_S of one side of the dual device with the other side not operating (one side rating)
- P_T = maximum rating at T_S with both sides operating (both side rating)

NOTE: Specifications for dual devices in one case usually give a maximum rating for each device and a total power rating which is significantly less than the sum of individual ratings.

C.F. = stress correction factor per (8) below for silicon

C.F. = 1.0 for germanium

(2) Groups IV & VI General Purpose Diodes & Thyristors.

$$\text{For Silicon, } S = \frac{I_{OP}}{I_{MAX}} (\text{C.F.}) \quad \text{For Germanium, } S = \frac{I_{OP}}{I_{MAX}}$$

where:

I_{OP} = operating average forward current

I_{MAX} = maximum rated average forward current at T_S

C.F. = stress correction factor per (7) below

(3) Group V Zener Diodes

Zener diodes are rated for maximum current or power or both. Either rating may be used as follows:

$$S = \frac{P_{OP}}{P_{MAX}} (\text{C.F.}) \quad \text{or } S = \frac{I_Z(OP)}{I_Z(MAX)} (\text{C.F.})$$

where:

P_{OP} = actual power dissipated

P_{MAX} = maximum rated power at T_S

$I_Z(OP)$ = actual operating zener current

MIL-STD-217D
18 January 1982
DISCRETE SEMICONDUCTORS

$I_Z(\text{MAX})$ = maximum rated zener current at T_3

C.F. = stress correction factor per (7) below

(4) Group VII Microwave Mixer Diodes

$$S = \frac{\text{Operating Spike Leakage (ergs)}}{\text{Rated Burnout Energy at 25 degrees C.}}$$

(5) Group VII Microwave Detector Diodes

$$S = \frac{P_{OP} \text{ (Operating Power Dissipation)}}{P_{MAX} \text{ (Rated Power at 25 degrees C.)}}$$

(6) Group VIII Varactor, Step Recover, and Tunnel Diodes.

$$S = \frac{P_{OP} \text{ (C.F.)}}{P_{MAX}}$$

where:

P_{OP} = actual power dissipated

P_{MAX} = maximum rated power at T_3

C.F. = stress correction factor per (7) below

TTL-HDBK-217D
15 January 1982
DISCRETE SEMICONDUCTORS

(7) Stress Correction Factor (C.F.) and temperature corrections for Silicon Devices.

- a. Devices with $T_S = 25$ degrees C & $T_{MAX} = 175$ degrees C to 200 degrees C.

$$C.F. = 1$$

- b. Devices with $T_S > 25$ degrees C & $T_{MAX} = 175$ degrees C to 200 degrees C.

$$C.F. = \frac{175 - T_S}{150}$$

- c. Devices with $T_S = 25$ degrees C & $T_{MAX} < 175$ degrees C.

$$C.F. = \frac{T_{MAX} - 25}{150}$$

and enter λ_b table with $T = T_A + (175 - T_{MAX})$

or $T = T_C + (175 - T_{MAX})$

- d. Devices with $T_S > 25$ degrees C & $T_{MAX} < 175$ degrees C.

$$C.F. = \frac{T_{MAX} - T_S}{150}$$

and enter λ_b table with $T = T_A + (175 - T_{MAX})$

or $T = T_C + (175 - T_{MAX})$

S I M B O L O S

| | |
|--------|---|
| a | Constante de las fuerzas resistivas de fricción proporcional a la masa |
| AT | Alta tensión |
| ATS | Sistema de pilotaje de parada automática del tren (Automatic Train STOP) |
| AVF | Campo de variación automática (Automatic Variable Field) |
| b | Constante de las fuerzas resistivas por la resistencia del aire |
| BT | Baja tensión |
| C | Capacitor |
| c | Constante que expresa el producto de f por el cociente de $l/m\alpha$ entre $l/m\alpha$ |
| CA | Corriente alterna |
| CAM | Costo anual de mantenimiento |
| CD | Corriente directa |
| CDAT | Costos directos adicionales por tren |
| CF | Factor de corrección (confiabilidad) |
| CIAT | Costo anual de la inspección uno por tren |
| CIATR | Costo anual de la inspección uno por cada troceador |
| CIITR | Costo de la inspección uno por cada troceador |
| CNAJH | Costo anual del mantenimiento cíclico por cada tren |
| CNCAT | Costo anual de la inspección dos y tres por tren |
| CNCATR | Costo anual de las inspecciones dos y tres por cada troceador |
| CNCJH | Costo del mantenimiento cíclico por cada JH |
| CNCTR | Costo de las inspecciones dos y tres por cada troceador |
| CNMAJH | Costo anual del mantenimiento mayor por cada JH |

| | |
|---------|---|
| CMLJH | Costo del mantenimiento mayor por cada JH |
| CMSAJH | Costo anual del mantenimiento sistemático por cada JH |
| CMSJH | Costo del mantenimiento sistemático por cada JH |
| CNCF | Constructora Nacional de Carros de Ferrocarril |
| CTTMO | Costo de la transformación por mano de obra por tren |
| CN20 | Contactador monoblock 20 |
| D | Diódo de rueda libre |
| Da y Dc | Diódos auxiliares en la inversión |
| DET | Disyuntor Electromagnético de Tracción |
| DIN | Refacción de integración nacional |
| E | Fuerza contraelectromotriz en la máquina de CD |
| Ec | Energía cinética |
| el | Desplazamiento hasta el final de la operación de marcha |
| Ep | Energía potencial |
| ETTA | Promedio de entradas al taller de cada tren por año |
| F | Fuerza |
| f | Relación de fem máximo al mínimo |
| FF | Fuerzas resistivas |
| FU | Frenado de urgencia |
| F1...F6 | Pasos de frenado |
| H | Elemento de conmutación |
| I | Corriente en la armadura del motor |
| ic | Corriente en el capacitor de inversión |
| II | Corriente en el tiristor de inversión |
| Imáx | Corriente máxima del dispositivo (solo para confiabilidad: corriente máxima promedio) |
| INCA | Promedio de intervenciones de mantenimiento cíclico a cada tren |

| | |
|-----------|---|
| IMP | Refacciones de importación |
| Inv | Costo de adquisición e instalación del equipo troceador |
| Iop | Corriente media de operación |
| Ip | Corriente en el tiristor principal |
| JH | (Jaumont-Meldmen) Equipo de control de tracción-frenado comandado por levas |
| JHR | Equipo JH con posibilidad de frenado regenerativo |
| K, K', K' | Constantes propias del motor |
| L | Inductancia |
| M | Carro motriz con cabina |
| m | Masa del vehículo |
| m' | Masa del vehículo considerando el efecto de la inercia rotacional |
| MP-68 | Material sobre neumáticos-68 |
| MTTF | Tiempo medio a falla (Mean Time to Fail) |
| N | Número de trenes a transformar |
| n | Número de años del horizonte de transformación |
| NC | Número de conductores |
| NE | Número de técnicos electricistas |
| NI | Número de ingenieros |
| NM73C-2G | Equipo NM73C segunda generación |
| NP | Número de técnicos en paileria |
| OPJH | Costo anual de operación del material JH |
| OPTR | Costo anual por operación del material troceador |
| P | Potencia |
| p | Conexión paralelo |
| PA | Piloteaje Automático |
| PF | Potencia de las fuerzas resistivas |

| | |
|------|--|
| PR | Carro remolque - piloto automático |
| P(t) | Confiabilidad |
| R | Resistencia del circuito de armadura |
| Ra | Resistencia del reóstato de arranque |
| ri | Resistencia interna del motor |
| Rx | Porción total del reóstato en el instante (paso) x |
| RX | Segmentos elementales del reóstato |
| S | Relación de esfuerzo (Stress Ratio) |
| SDC | Sueldo por día de conductor |
| SDE | Sueldo por día de electricista |
| SDI | Sueldo por día de ingeniero |
| SDP | Sueldo por día de técnico en pailería |
| SF | Seccionadores de frenado |
| SHE | Sueldo por hora de los técnicos electricistas |
| SME | Servomotor eléctrico |
| SP | Conexión serie-paralelo |
| ST | Seccionadores de tracción |
| STC | Sistema de transporte Colectivo |
| T | Temperatura de entrada a la tabla (confiabilidad) |
| t | Tiempo |
| Ta | Temperatura ambiente |
| Te | Tiristor de extinción |
| TF | Tracción-Frenado |
| TII | Tiempo requerido para la inspección I en horas |
| TI | Tiristor de inversión |
| Tm | Par motor |

| | |
|-------------------|--|
| $T_{m\acute{a}x}$ | Temperatura máxima de la unión |
| t_{MC} | Tiempo del mantenimiento cíclico |
| t_{MH} | Tiempo del mantenimiento mayor |
| t_{MS} | Tiempo del mantenimiento sistemático |
| T_p | Tiristor principal |
| t_p | Tiempo de pruebas |
| t_q | Tiempo de apagado |
| t_T | Tiempo de la transformación de un tren |
| $T1...T5$ | Pasos de tracción |
| U | Tensión de alimentación o de la línea |
| V | Velocidad |
| V_c | Velocidad de crucero |
| V_i | Velocidad al iniciarse el frenado |
| V_{MPL} | Velocidad media de período largo |
| MEF | Puente rectificador de excitación en frenado |
| X_s | Inductancia de derivación |
| α | Relación cíclica de conducción |
| B | ndice de supervivencia de acuerdo con el modelo exponencial |
| Δh | Cambio de altura |
| Δt | Inverso de la velocidad de transformación |
| λ_b | Confiabilidad base en millones de fallas por hora |
| Φ | Flujo magnético |
| ω | Velocidad angular |

V E C T O R E S

| | |
|----------|---|
| $[A]$ | Vector aceleración del tren (en tracción) |
| $[-A'm]$ | Vector desaceleración (en marcha) |

- [Ef] Desplazamiento en frenado (para graficación)
- [E'f] Desplazamiento en frenado
- [Em] Vector de desplazamiento (en marcha)
- [Et] Vector de desplazamiento en tracción (en tracción)
- [Ff] Vector de fuerza resistente al avance
- [Ff'] Vector de esfuerzo ejercido en el frenado en función del vector de velocidad [Vf]
- [Ft] Vector de fuerza tractiva
- [Pf] Vector de potencia mecánica ejercida
- [Pt] Vector de potencia tractiva
- [Tt] Vector de trabajo mecánico realizado por los motores
- [Vf] Velocidad en frenado en función del desplazamiento
- [Vm] Vector de velocidad en función del desplazamiento (en marcha)
- [V'm] Vector de velocidad en la operación de marcha
- [Vt] Vector de velocidades (en tracción)

OBRAS CONSULTADAS

- **Anexos de calibración y consumo (datos técnicos de STC).**
 1. Calibre de aceleración.
 2. Calibre de frenado.
 3. Criterios para afectar los calibres de aceleración y frenado.
 4. Parámetros para el cálculo del consumo y recuperación de energía derivados del movimiento del tren.
- **An introduction to railway braking.**
C. Broadbent.
Ed. Chapman and Hall.
- **Apuntes tomados de la clase de transporte eléctrico, impartida por el Ing. Baltazar Chávez Espino durante el semestre 84-2.**
UNAM, CU., facultad de ingeniería.
- **Características de los motores en el accionamiento eléctrico.**
S. Veshnerski.
Ed. Mir.
- **Compendio de datos técnicos relevantes del metro.**
Documento técnico No. 17.
Sistema de Transporte Colectivo.
Subdirección de Operación, 1983.
- **Control electrónico de los motores de corriente continua.**
R. Chauprade.
Ed. Gustavo Gili.
Barcelona, 1983.
- **Développement actuel des convertisseurs à hacheurs de courant d'automotrices urbaines.**
P. Decottignies.
Tesis, octubre de 1979.
- **El factor tecnológico en la teoría del desarrollo económico.**
Francisco R. Sagasti.
Jornadas No. 94.
El Colegio de México, 1981.
- **Electric power utilization.**
W. W. Hancock.
Ed. Pitman.
- **Electroneuánica y máquinas eléctricas.**
S.A. Masar y L. E. Umanzahr.
Ed. Limusa, México, 1982.

- Essais types.
Materiel Roulant MP-82.
Jeumont-Schneider.
- Fundamentals of reliability theory.
O. M. Polovko.
Academic Press, N.Y., 1968.
- Fundamentos de interrupción de circuitos.
C. H. Ravintangoraptur.
- Gráficas de comportamiento de distintas variables.
Proporcionadas por: Constructora Nacional de Carros de Ferrocarril,
S. A.
- Hojas de requisición de material y equipo de STC.
(Actualizadas a 1985).
- Informe de trenes evacuados y fallas críticas, presentadas de enero de
1984 a marzo de 1985.
Subdirección de Operación, gerencia de material rodante (STC).
Marzo de 1985.
- Les voitures du chemin de fer métropolitain de Paris.
Livre IV - Le material sur pneumatiques.
- Manuales de Bombardier.
Volumen IV Traction.
Volumen X Analyse économique et financière.
- Manual de inspección y mantenimiento del JH.
A. Vizcaino, Sobrestante de averías del taller Taxqueña.
- Manual de Jeumont - Schneider del material MP-68.
- Manual del troceador japonés.
Malco (Mitsubishi Electric Company) de México.
1979.
- Reliability prediction of electronic equipment.
Military handbook.
Department of Defense, United States of America.
MIL-HDBK-217D 15- january - 1982 superseding MIL-HDBK-217C
9-April-1979.
- Sabanas de averías de los talleres de Zaragoza, Ticomán, Taxqueña y
Rosario, de enero de 1984 a marzo de 1985.
- Tablas de recorridos.
(Manuales de pilotaje automático).

- The economics of traction vehicles.
B. Steiner.
Brown Boveri Review, tome 10, 1970.
- Thyristor manual.
MCA.
1964.
- Traction électrique et thermo-électrique.
Marcel Tessier.
Editions Scientifiques Riber. 1978.