

25  
250



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN**



**V N A M**

**CONTROL DE TRACCION Y FRENADO EN LOS MOTORES DEL METRO  
FERREO A BASE DE LA SEÑAL PATRON.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**P R E S E N T A**

**IGNACIO MORADO LOZANO**

**ASESOR: ING. RICARDO RAMIREZ VERDEJA**

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1993

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



## **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.

## INDICE

	Página
Introducción	2
CAPITULO 1	
PRINCIPIOS BASICOS	
1.1 Resistores	6
1.2 Inductancia	7
1.3 Capacitancia	7
1.4 Teoría elemental del semiconductor	8
1.4.1 Estructura atómica	8
1.4.2 Bandas de energía	10
1.4.3 Contaminación	11
1.4.4 Portadores tipo "n"	11
1.4.5 Portadores tipo "p"	12
1.5 El diodo	13
1.5.1 Características del diodo	14
1.5.2 Diodos rectificadores de RF y de conmutación	15

1.5.3 Diodo zener	16
1.6 El transistor	17
1.7 El amplificador operacional	18
1.7.1 Configuración básica de los amplificadores operacionales	20
1.7.2 Amplificador operacional inversor	20
1.7.3 Amplificador operacional no inversor	21
1.7.4 Amplificador operacional diferencial	22
1.7.5 Amplificador operacional sumador	23

## CAPITULO 2

### ESPECIFICACIONES GENERALES DE CADA

#### CARRO DEL METRO FERREO

2.1 Generalidades	25
2.2 Principales especificaciones de cada carro	25
2.2.1 Sistema eléctrico	25
2.2.2 Formación del tren	26
2.2.3 Peso de cada carro	26
2.2.4 Aceleración del tren	26
2.2.5 Desaceleración del tren	26
2.2.6 Motor de tracción	27
2.2.7 Diametro de la rueda	27
2.2.8 Control de tracción	27
2.2.9 Control de frenado	27
2.2.10 Alimentación del control de potencia	27

	Pagina
2.2.11 Presion de aire	27
2.3 Sistema de control	29
2.3.1 Conexión de los motores de tracción	29
2.3.2 Control de voltajes y corrientes	29
2.3.3 Sistema de control automatico (Chopper)	30
2.3.4 Secuencia de interrupcion de corriente	30
2.3.5 Arranque	30
2.3.6 Frecuencia de corte	30
2.3.7 Fre-excitacion	30
2.3.8 Control de apagado del motor de tracción	31
2.4 Equipo eléctrico principal	31
2.4.1 Motor de tracción	31
2.4.2 Caja de switch de línea y switch de cambio	31
2.4.3 Caja de control automatico (Chopper)	32

### CAPITULO 3

#### BASES DE FUNCIONAMIENTO DEL METRO FERREO

3.1 Bases fundamentales del funcionamiento del equipo de control del Metro Ferreo	35
3.1.1 Control de velocidad de los motores de tracción del Metro Ferreo	35
3.1.2 Principios básicos del sistema de control automatico (Chopper)	37
3.1.3 Funcionamiento en tracción	38
3.1.4 Funcionamiento en frenado regenerativo	41

3.2 Sistema de control [chopper] por el principio de campo variable automático [AVF]	43
3.2.1 Principios básicos	43
3.2.2 Características del campo variable [AVF] a dos feses ( duplex )	44
3.3 Breve explicación del circuito principal de potencia	46
3.3.1 Tracción	46
3.3.2 Frenado regenerativo	47
3.3.3 Frenado reostático	48

#### CAPITULO 4

##### SEÑAL PATRON

4.1 Definición de señal patrón	52
4.2 Diagrama a bloques de la señal patrón	52
4.3 El manipulador	53
4.4 Generador 1 de señal patrón	55
4.5 Generador 2 de señal patrón	55
4.6 Receptor de señal patrón	56

#### CAPITULO 5

##### MANIPULADOR Y GENERADOR DE SEÑAL PATRON

5.1 Características y operación del manipulador	62
5.2 Características y operación del generador 1 y 2	

de señal patron	66
5.3 Limitación a tracción [T1] y frenado [F1]	68

CAPITULO 6

RECEPTOR DE SENAL PATRON

6.1 Generalidades	75
6.1.1 Efectos de la señal patrón en el receptor	75
6.1.2 Tarjeta logica MN-PAT-74A	76
6.1.3 Tarjeta logica MN-DC-15A	78
6.1.4 Generalidades de la Electroválvula Moderable de Desfrenado [EMD]	79
6.2 Interface de carga variable	80
6.3 Calculo del esfuerzo de frenado	80
6.4 Circuito que convierte la medida de corriente de motor a su equivalente en señal patrón	82
6.5 Circuito que calcula el patrón de frenado neumático	84
6.6 Circuito de conversión a características de la Electroválvula Moderable de Desfrenado	86
6.7 Freno neumático para carros 'R'	87
6.8 Salidas a las bobinas de las Electroválvulas Moderable de Desfrenado	87
6.9 Fuente de alimentación	89
6.10 Algunos valores característicos en el receptor	

	Página
de señal patrón	89
6.11 Solución del circuito del receptor de señal patrón para un grado de frenado	97
Conclusiones	109
Bibliografía	112



## INTRODUCCION

Un proyecto que parecía imposible se hizo realidad hace 25 años . El inicio de la construcción del Metro de la Ciudad de México . Todo comenzo el 19 de junio de 1967 .

La inauguración del primer tramo de la línea 1 de Zaragoza a Chapultepec . se realizo 25 meses después de iniciarse las obras , es decir el 4 de septiembre de 1969 .

El Metro en la actualidad transporta a 4'600,000 pasajeros diariamente en sus 9 líneas a través de 135 estaciones y 158 kilómetros de vías . Por la afluencia de usuarios , el Metro de México ocupa el tercer lugar en el mundo , detras del subterráneo de Moscú y Tokyo .

Ademas es el sexto por su extensión , debajo de Londres , Nueva York , Moscú , Paris y Tokyo .

Como una respuesta al crecimiento demográfico de la ciudad , a fines de 1970 , funcionaban ya tres líneas con 47 estaciones y 40 kilómetros de recorrido : Línea 1 ( Zaragoza - Tacubaya ) ; Línea 2 ( Tasqueña - Tacuba ) ; Línea 3 ( Huelatolico - Hospital General

En 1980 la línea 3 se amplió para cubrir el tramo Indios Verdes - Zapata , un año después funcionaron las líneas 4 y 5 : En 1983 la línea 3 se extendió hasta Ciudad Universitaria e inició operación la línea 6 .

La línea 7 se inauguró en 1984 y en 1987 la línea de Pantitlán a Centro Médico ( y el año siguiente hasta Tacubaya ) con lo que la red cumplió 141 kilómetros .

Bajo esta dinámica de crecimiento en el año de 1991 se inauguró la línea "A" que va de Pantitlán al municipio de La Paz en el Estado de México . Esta Vía además hace correspondencia con otras tres líneas .

Esta línea utiliza ruedas metálicas en lugar de llantas y toma la energía de cables aéreos .

De acuerdo con la política de extensión de las redes del Metro , el Departamento del Distrito Federal a través de COVITUR , inició los trabajos para construir la línea 8 que tendrá 18 estaciones y 20 kilómetros y hará correspondencia con la línea 2 ( en Bellas Artes y Chabacano ) , con la línea 1 ( en Salto del Agua ) ; y con la línea 9 ( en Chabacano ) . Cuando entre en funcionamiento esta línea en su totalidad , se incrementará la longitud del Metro hasta 178 kilómetros .

El plan maestro del Metro considera la construcción de una red con un total de 315 kilómetros .

La industria como sector secundario de la economía transforma la materia prima en bienes de equipo , y con el avance de la tecnología se provoca que estos bienes sean más baratos en costo ,

para conseguir estos objetivos se requiere de una fuente energética relativamente barata , flexible , controlable y de fácil obtención que a la vez sea accesible a la industria : La electricidad .

La electricidad tiene limitaciones evidentes en los campos de la regulación , el control y la automatización y es la ELECTRONICA quien viene a superar estos inconvenientes .

Los sistemas electrónicos por medio de sus componentes permiten convertir , controlar , regular , amplificar , etc. las señales eléctricas . Tales sistemas reciben señales elementales y las procesan proporcionando otras generalmente eléctricas que el hombre precisa para manejar sus maquinas .

Para el Sistema de Transporte Colectivo Metro es de vital importancia que sus trenes , debido a la gran importancia que tiene dentro del transporte público y su gran red de líneas , que cuente con un control de sus trenes que sea de una precisión muy fina , esto se ha logrado gracias a la electrónica , Es por medio de esta que se ha diseñado todas las protecciones y controles para la tracción y frenado de los trenes del Metro Ferreo para su óptimo funcionamiento , dicho control es realizado por los elementos de electrónica que generan y procesan la llamada SEÑAL PATRON .

Presisamente de esta señal es de la que nos encargaremos en esta tesis , esperando que sea de gran utilidad para los estudiantes que tengan curiosidad del funcionamiento del control que se tiene

en los trenes del Metro Ferreo de la Ciudad de México .

También para el personal que día a día prestan sus servicios al Sistema de Transporte Colectivo Metro .

## CAPITULO 1

### PRINCIPIOS BASICOS

#### 1.1 RESISTORES

Los componentes electronicos de mayor uso son los resistores estos por definición son elementos lineales donde la respuesta es proporcional a su excitación satisfaciendo la ecuación :

$$V(t) = R(t) i(t)$$

conocida como ley de Ohm ; en donde la resistencia  $R(t)$  no depende del voltaje  $V(t)$  ni de la corriente  $i(t)$  pero depende del tiempo . Si  $R(t)$  no dependiera del tiempo ; el resistor seria invariante . El resistor es representado por el simbolo que se muestra en la figura 1.1 .



FIGURA 11 REPRESENTACION DE UN RESISTOR

### 1.2 INDUCTANCIA

Una inductancia es un elemento eléctrico que satisface la ecuación :

$$\Phi(t) = L(t) i(t)$$

en la cual  $\Phi(t)$  es el flujo magnético medido en Webers , La variable  $i(t)$  es la corriente y  $L(t)$  es la inductancia del inductor , las unidades de  $L(t)$  son :[Henrys = Webers / Ampere] . Si el parametro  $L(t)$  no varia con el tiempo la inductancia es invariante , y su representación se muestra en la figura 1.2



FIGURA 12 REPRESENTACION DE LA INDUCTANCIA

### 1.3 CAPACITANCIA

En un circuito eléctrico una capacitancia es un elemento que satisface la ecuación :

$$q(t) = C(t) V(t)$$

en donde  $q(t)$  es la carga neta en una de las placas de la capacitancia y sus unidades son : [Farads = Coulombs / Volts] . si el parametro capacitancia  $C(t)$  no depende del tiempo , entonces la capacitancia es invariante .

En la figura 1.3 se muestra la representación de la capacitancia .



FIGURA 1.3 REPRESENTACION DE LA CAPACITANCIA

#### 1.4 TEORIA ELEMENTAL DEL SEMICONDUCTOR

Los electrones exhiben una naturaleza dual , se comportan en algunos casos como partículas y en otros casos como ondas .

La representación como partículas es util al describir el funcionamiento de los transistores y de la mayor parte de los diodos .

##### 1.4.1 ESTRUCTURA ATOMICA

La estructura atómica de un atomo considerado como partícula es similar a la del sistema solar . En el centro del atomo se encuentra el núcleo , constituido por partículas con carga positivas llamados protones y por muchas partículas eléctricamente neutras llamadas neutrones . Al rededor del núcleo estan girando

los electrones cargados negativamente , y que el número de electrones es igual al número de protones , normalmente el átomo es eléctricamente neutro .

En átomos con estructura compleja los electrones se encuentran en orbitas más alejadas del núcleo , en donde en su segunda orbita se pueden acomodar hasta 8 electrones , en la tercera 18 y así sucesivamente . En la estructura atómica del Silicio [Si] que es un material básico utilizado para dispositivos semiconductores discretos y circuitos integrados , su número atómico es  $Z=14$  : y por consiguiente tiene en su tercera orbita tan solo 4 electrones de valencia . El Germanio [Ge] , otro material semiconductor , también cuenta con cuatro electrones de valencia . A los elementos que contienen cuatro electrones de valencia se les denomina como tetravalentes . El silicio utilizado para dispositivos semiconductores se trabaja para obtener una estructura monocristalina . Un monocristal es un arreglo ordenado de átomos , en el silicio puro cada uno de los átomos comparte sus cuatro átomos vecinos como se muestra en la figura 1.4 , este tipo de electrones compartidos da como resultado la generación de enlaces covalentes , ya que solo los electrones de valencia intervienen en este tipo de enlaces . El átomo de silicio puede representarse simplemente por cuatro electrones de valencia , al rededor de un núcleo de +4 cargas positivas y es eléctricamente neutro .

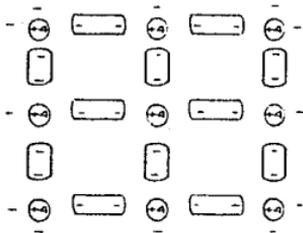


FIGURA 14 REPRESENTACION DE UN ENLACE COVALENTE

#### 1.4.2 BANDAS DE ENERGIA

Fara que los electrones puedan ser considerados como portadores de corriente deben de ocupar una banda de mayor energía la cual se conoce como banda de conducción , sin embargo ningún electrón podra ocupar una región definida como la banda de energía prohibida , que separa las bandas de valencia y de conducción .

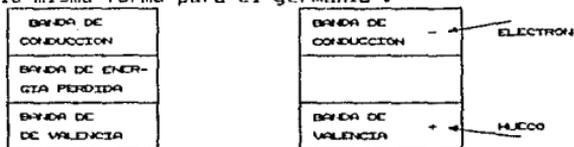
Un electrón que ha alcanzado la banda de conducción en un semiconductor , deja un sitio vacante en la banda de valencia , como se muestra en la figura 1.5 . Lo interesante de esto es que el hueco se comporta como una carga igual que una partícula cargada positivamente cuya carga es igual y opuesta a la del electrón . se encuentra bajo la influencia de un campo electrico al igual que un electrón pero viaja en dirección opuesta y mas lento que un electrón .

Cuando se eleva la temperatura del semiconductor , los electrones de valencia ganan energia y la generación de los pares electrón-hueco se incrementa rapidamente . de echo esto es lo que limita las condiciones de funcionamiento de los dispositivos de

silicio a los 150 grados centigrados , a causa de que el ancho de la banda prohibida del germanio es casi la mitad a la correspondiente del silicio , la temperatura máxima de funcionamiento del germanio es aproximadamente de 85 grados centigrados .

### 1.4.3 CONTAMINACION

En el silicio absolutamente puro , para que tenga un exceso de ya sea de electrones o de huecos , esto se logra introduciendo ciertas impurezas al silicio , a este proceso se le conoce como contaminación , y a este atomo extraño se le conoce como impureza siendo de la misma forma para el germanio .



a ) b )  
 FIGURA 15. ESTRUCTURA DE BANDAS DE ENERGIA  
 EN EL MOMENTO DE CONDUCCION

### 1.4.4 PORTADORES TIPO "n"

Supongase que una impureza como el fósforo (P) que tiene cinco electrones de valencia se introduce en el silicio o al germanio ( a los elementos de cinco electrones de valencia se les conoce como elementos pentavalentes ). El silicio contaminado con impurezas pentavalentes se les denomina silicio tipo "n"

funcionando de la siguiente manera :

El quinto electrón de valencia esta libre y sirve como portador de corriente , esto se demuestra en una forma sencilla , si aplicamos voltaje en los extremos del material tipo "n" los electrones son atraídos hacia la terminal positiva y fluye corriente , si se aumenta la concentración de impurezas se tendrán mas electrones libres y la corriente que fluirea sera mayor . Los electrones en un semiconductor tipo "n" se denominan portadores mayoritarios , a los huecos se les denomina portadores minoritarios , en condiciones normales de temperatura se puede despreciar los portadores minoritarios , pero conforme la temperatura se eleva los portadores minoritarios aumentan .

#### 1.4.5 PORTADORES TIPO "p"

Supongamos que un elemento de tres electrones de valencia (elemento trivalente) como por ejemplo el Boro (B) se introduce al silicio o al germanio , la impureza trivalente comparte sus tres electrones de valencia con tres atomos de silicio , la falta de un electrón provoca un hueco , este hueco actua igual que una partícula que contiene una carga positiva igual y opuesta a la del electrón y sirve como portador de corriente , funcionando de la siguiente manera :

Cuando se aplica un voltaje en los extremos de un material tipo "p" los huecos son atraídos hacia la terminal negativa de las fuentes de alimentación , al igual que un semiconductor tipo "n" , cuando mayor sea la concentración de impurezas mayor será el

número de huecos presentes y mayor el flujo de corriente , los huecos en un semiconductor tipo "p" son ahora los portadores mayoritarios y los electrones son los portadores minoritarios .

### 1.5 EL DIODO

El dispositivo mas simple semiconductor es el diodo de unión o de juntura , en la figura 1.6a se muestra su construcción física básica y en la figura 1.6b su simbolo eléctrico , la unión del diodo se forma al contaminar la mitad del silicio puro (o germanio) con una impureza tipo "p" y la otra mitad con una impureza tipo "n" , al limite de las regiones "p" "n" en donde ocurre toda la acción se denomina unión "pn" . A las conexiones de las regiones "p" y "n" se les conoce como ánodo y cátodo respectivamente .

Cuando se hace positivo el ánodo con respecto al cátodo se dice que el diodo esta polarizado directamente . Los electrones en la región "n" son atraídos hacia la terminal del ánodo , mientras que los huecos en la región "p" son atraídos hacia la terminal del cátodo del diodo , por consiguiente los electrones y huecos cruzan la unión o juntura , produciendo una circulación de corriente en el circuito .

En el caso contrario de que se encuentra alimentado de tal forma que el ánodo se polariza negativamente con respecto al cátodo , en estas condiciones el diodo esta polarizado inversamente .

Los huecos minoritarios y los electrones que se encuentran cerca de la unión son atraídos inicialmente por las terminales negativas

y positivas de la batería respectivamente , y no hay circulación de corriente .

### 1.5.1 CARACTERISTICAS DEL DIODO

Cuando se polariza directamente el diodo permite que la corriente circule , en la figura 1.6c) se muestra una curva de características ideales del diodo .

Cuando el diodo se encuentra polarizado directamente la corriente [If] circula y el voltaje [Vf] es cero . Cuando el diodo es polarizado en inversa [Ir] es cero a pesar del valor de [Vr] .

Para que los electrones y huecos de los elementos que componen al

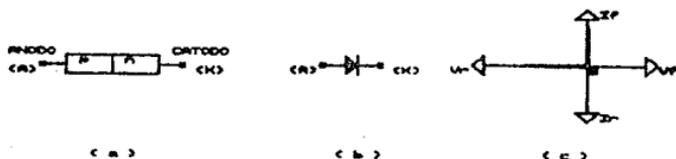


FIGURA 1A EL DIODO a) CONSTRUCCION FISICA  
b) SIMBOLO ELECTRO c) CURVA CARACTERISTICA ICA

diodo se exciten se necesita un voltaje de arranque conocido como voltaje de umbral . este voltaje es el necesario para el arranque del funcionamiento de los dispositivos semiconductores que sera de los siguientes valores para los dispositivos de silicio y de los de germanio :

DISPOSITIVOS CON SILICIO ..... 0.75 VOLTS

DISPOSITIVOS CON GERMANIO ..... 0.60 VOLTS

Con una polarización en inversa , circula una corriente en inversa del orden de microamperes para el silicio , el valor de la corriente en inversa aumenta cuando aumenta el voltaje de polarización en inversa .

### *1.5.2 DIODOS RECTIFICADORES DE RF Y DE CONMUTACION*

Un diodo que se utiliza para rectificación o de RF y de circuitos de conmutación , consiste básicamente en un diodo de unión "pn" , la diferencia entre ellos es su tamaño , geometría y encapsulado .

Debido a que un diodo rectificador maneja varios miliamperes a amperes de corriente , generalmente tiene un tamaño mas grande que un diodo de RF o de conmutación . Un tamaño mas grande significa una área mayor de unión y de capacitancia , por esta razón los diodos rectificadores no pueden ser utilizados eficientemente en aplicaciones de alta frecuencia o de conmutación .

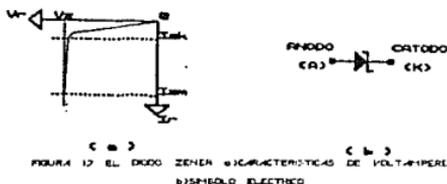
Los diodos de RF son mas pequeños y estan diseñados para minimizar los efectos de capacitancia y de inductancia , los diodos de conmutación tambien son de tamaño pequeño y estan concebidos para conmutar rapidamente de un estado de polarización inversa a una de directa .

Recientemente los diodos de conmutación se han desarrollado para conmutar corrientes de unos cuatro amperes en un intervalo de tiempo del orden de una decima de microsegundo .

### 1.5.3 DIODO ZENER

En la figura (1.7a) se observa que cuando el voltaje inverso aumentaba a un valor dado  $[V_{br}]$  existe una disrupción en el diodo, en la región de funcionamiento de corriente inversa que va desde  $[I_{zk}]$  hasta  $[I_{zm}]$ , el voltaje entre las terminales del diodo son constantes.

La corriente de quiebre  $[I_{zk}]$  es la corriente mínima y la corriente  $[I_{zm}]$  es la corriente máxima, limitada por la disipación del dispositivo. El voltaje inferior al quiebre  $[V_z]$  es el voltaje zener del dispositivo. En la escala del funcionamiento de la corriente en inversa, el voltaje entre las terminales del diodo es casi constante e igual al voltaje zener. Los diodos echos con características de voltaje se les conoce como diodo zener su simbolo se muestra en la figura (1.7b) siendo



encontrados en el orden de 2 a 200 volts, una utilidad del diodo zener es como regulador de voltaje. Puede existir una ruptura del diodo zener debido al campo eléctrico tan elevado que existe entre las terminales de unión "pn" en voltajes zener inferiores a 6 volts, esto provoca la ruptura de los enlaces covalentes, incrementando de esta forma los electron-huecos.

A los diodos zener creados para mantener un voltaje relativamente constante en una escala amplia de corrientes de carga, se conoce como diodo regulador.

A los diodos que se utilizan para mantener un voltaje relativamente fijo al igual que una corriente fija sin importar los rangos de temperatura se le conoce como diodo de referencia.

### 1.6 EL TRANSISTOR

Generalmente se denomina transistor bipolar de unión (BJT) al transistor simple, es un dispositivo con tres terminales denominadas: [B] base; [E] emisor y [C] colector.

Tiene una presentación de dos tipos "pnp" y "npn", la figura 1.8 muestra la construcción y símbolos de los dos tipos de transistores. Como ejemplo de la polarización de los transistores se muestran en la figura 1.9 la polarización de un transistor en

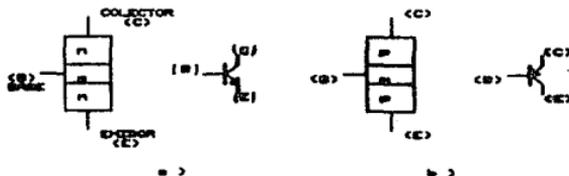


FIGURA 1.8 CONSTRUCCION Y SIMBOLOS DEL TRANSISTOR  
a) npn b) pnp

donde se observa que la terminal base se encuentra en contacto con el colector y el emisor en los dos casos de construcción del transistor, en funcionamiento normal esta conectado de tal manera

que la union base-emisor se encuentra polarizada en directa y la union base-colector se encuentra en inversa .

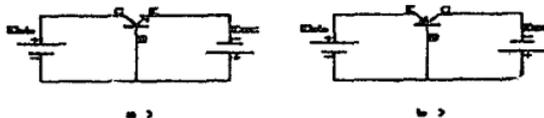


FIGURA 1.9 EJEMPLO DE POLARIZACION DE UN TRANSISTOR  
a) común b) emisor

### 1.7 EL AMPLIFICADOR OPERACIONAL.

Los amplificadores operacionales fueron lanzados al mercado al principio de la decada de 1940 , se diseñaron con tubos de vacio y se utilizaron para realizar adiciones , sustraccion y otras operaciones matemáticas , de aqui su nombre de amplificador operacional .

El amplificador operacional es un amplificador de acoplamiento directo de alta ganancia que tiene la capacidad de realimentarse externamente , por donde se puede controlar la respuesta del amplificador en forma independiente de sus elementos internos .

Su representación se muestra en la figura 1.10 en donde se muestra que tiene una forma de punta de flecha apuntando hacia la salida del amplificador operacional y teniendo la entrada en la parte amplia de la punta de la flecha , en donde esta representa amplificación . Las terminales rotuladas con (-) y (+) se nombran terminales de inversion y no inversion respectivamente , estas

terminales tambien se conocen como entrada diferencial porque el voltaje de salida depende de la diferencia de entrada entre ellas .

El amplificador operacional ideal posee las siguientes características :

- 1.- Ganancia de ciclo abierto = infinito
- 2.- Resistencia de entrada = infinito
- 3.- Resistencia de salida = cero
- 4.- Ancho de banda = cero
- 5.- El voltaje de salida es cero cuando el voltaje de entrada es cero



FIGURA 110 REPRESENTACION DEL AMPLIFICADOR OPERACIONAL

Tomando estas características ideales se pueden deducir otras dos principales muy importantes :

- 6.- Dado que la resistencia de entrada es infinita no fluye corriente en las terminales de entrada del amplificador .
- 7.- Cuando se emplea la retroalimentación el voltaje de entrada diferencial se reduce a cero .

### 1.7.1 CONFIGURACION BASICA DE LOS AMPLIFICADORES OPERACIONALES

Las tres configuraciones básicas de los amplificadores operacionales son :

- 1.- La configuración de inversión
- 2.- La configuración de no inversión
- 3.- La configuración diferencial

Practicamente todos los demas circuitos de amplificadores operacionales se basan en algunas formas de las configuraciones anteriores .

### 1.7.2 AMPLIFICADOR OPERACIONAL INVERSOR .

Las señales de entrada se aplican a las terminales de inversión de la figura 1.11 a través de la resistencia [R1] y la salida se suministra a la misma entrada por medio de la resistencia [R2] .

Para un amplificador operacional ideal la corriente de base es igual a cero , esto significa que el voltaje de un lado a otro de la resistencia de entrada [R1] es cero ó es aproximadamente cero es decir que la terminal (-) se considera que internamente esta conectada a tierra virtual . Por lo tanto la ganancia de voltaje con realimentación resulta ser :

$$A = - V_o / V_i = R_2 / R_1$$

donde

$A$  = Ganancia

$V_o$  = Voltaje de salida

$V_i$  = Voltaje de entrada

$R_n$  = Resistencia

donde el signo (-) indica la propiedad de inversión del circuito

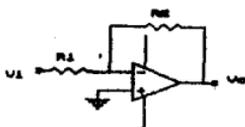


FIGURA 1.11 AMPLIFICADOR OPERACIONAL INVERSOR

### 1.7.3 AMPLIFICADOR OPERACIONAL NO INVERSOR

La figura 1.12 nos muestra un amplificador operacional de no inversión donde la señal de entrada se aplica a la terminal de no inversión, dado que en ninguna de las terminales de las terminales de entrada fluye corriente de entrada entonces es:

$$V_i = V_o = [R_1 / (R_1 + R_2)] V_o :$$

$$A = V_o / V_i = 1 + (R_2 / R_1)$$

Por lo tanto la ganancia  $A$  :

1 ≤ A ≤ ∞

para un amplificador de no inversión la ganancia [A = 1] cuando la resistencia [R2 = 0] en estas condiciones se suprime la resistencia [R1] y por lo tanto el circuito se denomina seguidor de voltaje .

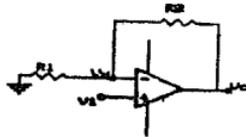


FIGURA 112 AMPLIFICADOR OPERACIONAL NO INVERSOR

#### 1.7.4 AMPLIFICADOR OPERACIONAL DIFERENCIAL

El amplificador operacional diferencial es una combinación de dos configuraciones anteriores , analizandolo mediante la superposición de cada entrada , en el amplificador operacional que se muestra en la figura 1.10 se observa la configuración de un amplificador operacional diferencial y su señal de salida esta dada por la ecuacion :

$$V_o = (R_{22} / R_{21}) V_2 - (R_{12} / R_{11}) V_1$$

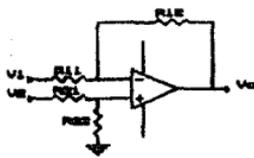


FIGURA 1.13 AMPLIFICACION OPERACIONAL DIFERENCIAL

En teoría la salida de un amplificador operacional diferenciador debe estar dado por :

$$V_o = A [V_2 - V_1]$$

Según la figura 1.13, Es decir una señal común en ambas entradas no debe tener efecto sobre  $V_o$ . La cantidad que se utiliza para medir cuando se suprime la señal de modo común respecto al voltaje diferencial de entrada se llama : Razon de rechazo de modo común .

#### 1.7.5 AMPLIFICADOR OPERACIONAL SUMADOR

La figura 1.14 nos muestra un amplificador operacional sumador , donde su salida es proporcional a la suma lineal de los voltajes de entrada : Su salida es :

$$V_o = [(R_2/R_{11})V_1] + [(R_2/R_{12})V_2] + [(R_2/R_{13})V_3]$$

En donde cada entrada de voltaje  $V_n$  son independientes .

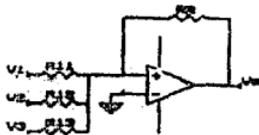


FIGURA 114 -AMPLIFICADOR OPERACIONAL SUMADOR

Su resultado se encuentra por superposición de cada entrada analizandolo dependiendo de que entrada este en funcionamiento ya sea de la entrada inversora o no inversora .

## CAPITULO 2

### ESPECIFICACIONES GENERALES DE CADA CARRO DEL METRO FERREO

#### *2.1 GENERALIDADES*

Estos carros eléctricos han sido manufacturados para las unidades del material [FMS6] para su funcionamiento en la línea "A" de la Ciudad de México y Área conurbada de los Reyes la Paz en el Estado de México .

A continuación se mencionan las características principales del equipo que compone el material de los trenes en funcionamiento en esta línea y mostrando parte de ellos en el dibujo de la figura 2.1 , y figura 2.2 .

#### *2.2 PRINCIPALES ESPECIFICACIONES DE CADA CARRO*

*2.2.1 .- SISTEMA ELECTRICO*                      750 volts de corriente directa

alimentados por pantógrafo ,  
(Máximo 900 Vcd : Mínimo 400  
Vcd)

**2.2.2 .- FORMACION DEL TREN**

- a) M-R-N-N-R-M (Para 6 carros)  
(4 unidades de control por  
tren)
- b) M-R-N-N-R-N-N-R-M (Para 9  
carros) (6 unidades de  
control por tren)

donde :

M : Carro motriz con cabina

N : Carro motriz

R : Carro remolque

**2.2.3 .- PESO DE CADA CARRO (KG)**

Carro M : 29,500

Carro N : 28,700

Carro R : 21,500

**2.2.4 .- ACELERACION DEL TREN**

$1.0 \text{ m} / \text{s}^2$  ( 30 km / h )  
( máximo )

**2.2.5 .- DESACELERACION DEL TREN**

$1.0 \text{ m} / \text{s}^2$  ( En operación  
normal a 3/4 de

carga ) ( máximo )

1.27 m / s <sup>2</sup> : En operación  
de emergencia a  
4/4 de carga )

**2.2.6 .- MOTOR DE TRACCION**

Potencia : 138 kw  
Voltaje : 360 volts  
Corriente : 426 amperes  
Velocidad : 1950 rpm  
(a una hora de funcionamiento)

**2.2.7 .- DIAMETRO DE LA RUEDA**

: 1005 milímetros

**2.2.8 .- CONTROL DE TRACCION**

AVF [Campo variable automático]  
sistema de control automático  
[chopper] con freno regenerati-  
vo / dinámico , 4 motores se  
controlan por un sistema de  
control automático [chopper] .

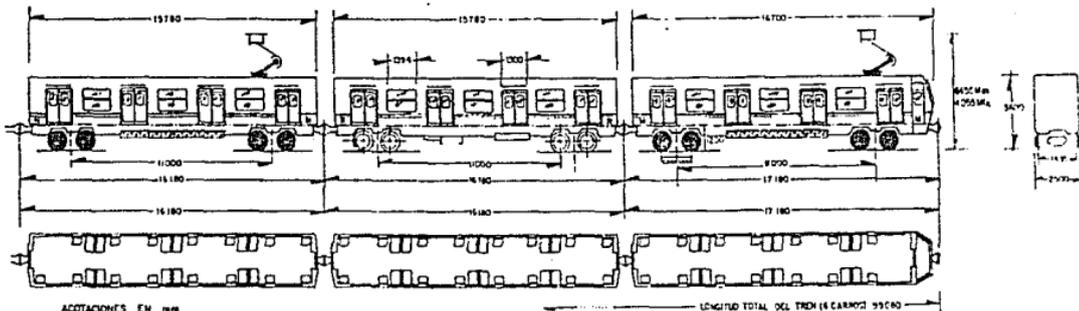
**2.2.9 .- CONTROL DE FRENO**

Continúa combinación de frenado  
dinámico regenerativo y neumá-  
tico .

**2.2.10 .- ALIMENTACION DEL CONTROL DE POTENCIA**

220 Volts ca +5% , 60 Hz +5%  
72 Volts cd +20% , -30%

**2.2.11 .- PRESION DE AIRE**



ACOTACIONES EN MM

(-) MIN. 4055

MAX. 6455

⊗ BOQUE MOTRIZ (MOTOR CON 512 KW POR CARRO)

⊙ BOQUE REMOLQUE

LONGITUD TOTAL DEL TREN 16 CARRIOS 99080

TUBERIA 47 EL METRO PUNTO

## LINEA A METRO FERRO

### CAPACIDAD POR TREN DE SEIS CARRIOS

M	LATA DE CEN (4 VALVULAS/m <sup>2</sup> )		PERSONAS 67% DE CEN (6 VALVULAS/m <sup>2</sup> )		PERSONAS 70% DE CEN (8 VALVULAS/m <sup>2</sup> )		N	PERFORA 70 kg	TAREA 18
	ENTRADOS DE PE TOTAL	TOTAL kg	ENTRADOS DE PE TOTAL	TOTAL kg	ENTRADOS DE PE TOTAL	TOTAL kg			
"M"	39	403 181	4070	38 174 176	17320	38 229 267	16690	28746	
"N"	39	405 144	10080	89 161 880	12600	39 254 273	19110	28344	
"R"	39	405 144	10080	39 141 180	12600	39 254 273	19110	20754	
TREN	872	828 806	40080	832 840 10172	170400	872 1384 1628	113670	180726	

TREN DE 6 CARRIOS

2 MOTORES CON CABINA

2 MOTORES SIN CABINA

2 REMOLQUES

FORMACION DE CARRIOS

M-R-R-R-R-R

TIPO DE CARRIOS:

M= MOTOR CON CABINA DE CONDUCCION

R= MOTOR SIN CABINA DE CONDUCCION

N= REMOLQUE

POTENCIA TOTAL DE MOTORES DE TRACCION 7048 KW

VELOCIDAD MAXIMA 100 km/h

ACELERACION MAXIMA CON EL TREN CARGADO

A 3/4 1.0 m/s<sup>2</sup>

DESACELERACION DE SERVIDO A 3/4 DE CAPA:

1.0 m/s<sup>2</sup>

DESACELERACION MAXIMA CON EL TREN CARGADO

A 4/4 1.27 m/s<sup>2</sup>

- CAPTACION DE ENERGIA POR MEDIO DE CATERINA A 750 VOLTS DE C.C. PANTOGRAFO TIPO "Z".

- ACCESORIOS CARROCERIA:  
PISO LOSETA DE VIRIL-ASBESTO.  
24 LAMPARAS FLUORESCENTES POR CARRO

7 VENTILADORES TIPO AXIAL POR CARRO

ASIENTOS DOBLES Y SENCILLO DE ESTRUCTURA METALICA OBTURADOS CON TAPA DE VIDRIO.

VENTANAS DE EMBLITONA

INTERIORES EN PLASTICO RIGIDO LAMINADO

- PENDIENTE MAX SUPERABILE 2%
- RADIO MINIMO DE CURVATURA: 45m
- CONVENCION ESTADIZO

GENERACION DE C.D. 75 VOLTS Y C.A. 270 VOLTS/ 60 HZ. POTENCIA DE SALIDA 175 KW

● BANDA DE BATERIAS:

NICHEL-CARBONO DE 75 VDC

60 AH/24H.

● SISTEMA DE AIRE CONDENCIDO

COMPRESOR DE AIRE DE 1000mm<sup>3</sup>/Min

A 7.5 lit/m

## 2.3 SISTEMA DE CONTROL

Este sistema de control automático llamado chopper es para controlar automáticamente la aceleración y desaceleración del tren .

### 2.3.1 .- CONEXION DE LOS MOTORES DE TRACCION

TRACCION : 2S2P Conexión permanente  
(Los devanados de campo AVF  
se conectan permanentemente  
en 4S1P)

FRENADO : 2S2P Conexión permanente  
con campo cruzado razón cons-  
tante de variación de campo.

donde

2S ; 2 serie            2P ; 2 paralelo

### 2.3.2 .- CONTROL DE VOLTAJES Y CORRIENTES

El control de corrientes y voltajes directos , es de acuerdo a un mando patron desde el manipulador , el voltaje es limitado por el radio de conducción , que depende de la posición del manipulador .

**2.3.3 .- SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO (CHOPPER)**

Funciona a frecuencia constante  
( Medio de control de la  
corriente )

**2.3.4 .- SECUENCIA DE INTERRUPCION DE CORRIENTE**

SERVICIO NORMAL : Interrupción de la corriente  
reducida por el sistema de con-  
trol automático (chopper)

EMERGENCIA : Interrupción de corriente re-  
ducida por medio de un circui-  
to interruptor de alta veloci-  
dad .

**2.3.5 .- ARRANQUE**

: Baja frecuencia y corriente  
patron de control en el arran-  
que .

**2.3.6 .- FRECUENCIA DE CORTE**

: 438 Hz ( 219 Hz X 2 fases )

**2.3.7 .- PRE-EXCITACION**

: El devanado de campo serie del  
motor de tracción es pre-exci-  
tado por una fuente controlada

### 2.3.8 .- CONTROL DE APAGADO DEL MOTOR DE TRACCION

: 4 motores son apagados en caso de que un motor falle .

## 2.4 EQUIPO ELECTRICO PRINCIPAL

En la figura 2.2 se muestra el esquema del circuito de potencia del metro ferreo , en donde se mencionara en este apartado las especificaciones de las partes que lo componen .

### 2.4.1 .- MOTOR DE TRACCION

TIPO : Corriente directa serie con devanados AVF , 4 polos con polos de conmutación , estructura cilíndrica de acero , tipo de autoventilación .

CAPACIDAD CONTINUA : 128 kw , 360 V , 395 A , 2000 rpm  
A 1 HORA DE USO : 138 KW , 360 V , 426 A , 1950 rpm

RAZON MINIMA DE VARIACION DE CAMPO : 35 %

### 2.4.2 CAJA DE SWITCH DE LINEA Y SWITCH DE CAMBIO

INTERRUPTOR REDUCTOR DE ALTA VELOCIDAD : [HB1 , HB1]

750 Vcd , 740 A

CONTACTO ELECTRONEUMATICO : [LB1] 750 Vcd 740 A

[LB2] , 750 Vcd , 750 A

RELEVADOR DE BAJO VOLTAJE : [LBR]

SWITCH DE PRUEBA DE SECUENCIA : [SQS]

RELEVADOR INVERSOR : [RV] , 750 Vcd , 600 A

INTERRUPTOR INVERSOR TRACCION-FRENADO : [FB] , 750 Vcd , 600 A

CONTACTOR ELECTROMAGNETICO : [PEXK] , 750 Vcd , 30 A

[BLK1 , BLK2]

200 Vac , 20 A

#### 2.4.3 .- CAJA DE CONTROL AUTOMATICO (CHOPPER)

TIRISTOR : [MCRF] FR 600AX (2500 V , 400 A , 35 $\mu$ s , 152P)

[ACKF] FR 600AW (2500 V , 400 A , 40 $\mu$ s , 152P)

DIODO : [FWD , AFWD] FD-1000A (2800 V , 800 A , 152P)

CAJA DE CONTROL DE COMPUERTAS

VENTILADOR DE LA CAJA DE CONTROL CHOPPER

TRANSFORMADOR DE CONTROL DE LA  
ALIMENTACION DE LA CORRIENTE DIRECTA : [DCCT]

TRANSFORMADOR DE CONTROL DE LA  
POTENCIA DE LA CORRIENTE DIRECTA : [DCPT]

CONDENSADOR DE FILTRO : [FC]

750 V , 1200  $\mu$ F X 2

CONDENSADOR DE CONMUTACION : [CMC1 , CMC2]

900 V , 63 $\mu$ F

REACTOR PRINCIPAL DE ALIMENTACION : [MSL]

4.5 mH , 395 A

REACTOR PRINCIPAL DE FILTRO : [FL]

RESISTOR REDUCTOR DE CORRIENTE

2.5 mH , 680 A

: [HB1R]

3.6 ohmios

[HB2R]

1.0 ohmios

CENSOR DE CARGA

: [VLD]



## CAPITULO 3

### BASES DE FUNCIONAMIENTO DEL METRO FERREO

#### 3.1 BASES FUNDAMENTALES DEL FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO DE CONTROL DEL METRO FERREO

##### 3.1.1 .- CONTROL DE VELOCIDAD DE LOS MOTORES DE TRACCION DEL METRO FERREO

Todos los motores de tracción para este tipo de material son de Corriente Directa [CD] serie basado en las siguientes razones : Una de las características de los motores de corriente directa serie es que tiene un par de arranque muy grande y su potencia de carga disminuye durante la operación de alta velocidad . Aún más , puesto que su armadura y devanado de campo esta conectado en serie , el operador tiene que controlar solamente el voltaje en sus terminales y la corriente que alimenta la carga . Suponiendo que la relación de engranes y el diametro de rueda es

fijo :

Esfuerzo de tracción ( ó esfuerzo de frenado )

$$F = ( K \phi I_m ) = K ( I_m )^2 \quad \dots\dots(1)$$

Velocidad

$$v = C \frac{E_m - I_m r}{\phi} = C \frac{E_m}{I_m} \quad \dots\dots(2)$$

donde

$\phi$  = flujo magnetico

$I_m$  = corriente de armadura

$E_m$  = voltaje en terminales

$r$  = resistencia interna ( $r = 0$ )

Para mantener una aceleración (ó desaceleración) constante solamente se necesita controlar a la corriente de armadura [ $I_m$ ] de la ecuación 1 , y de la segunda ecuación se ve que controlando el voltaje en sus terminales se controla la velocidad .

Por esta razon los sistemas de control convencionales han dependido del siguiente metodo :

Durante traccion el voltaje aplicado al motor de tracción es ajustado cambiando la conexión de la resistencia . y durante frenado el motor principal es cambiado a generador y la

eléctricidad generada es disipada por la resistencia para obtener fuerza de frenado .

En el sistema de control por chopper (sistema de control automático) , un switch especial se emplea en lugar de la resistencia así la acción de este switch puede alimentar la potencia necesaria al motor de tracción , mientras que en el frenado la potencia generada es regresada a la línea principal para ofrecerse al consumo de otros trenes en tracción esto da como resultado una fuerza de frenado , siendo el principio básico el siguiente apartado :

### 3.1.2 .- PRINCIPIOS BASICOS DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO (CHOPPER)

Como se muestra en la figura 3.1 , si un circuito teniendo una resistencia de carga es abierto o cerrado por un switch ideal el voltaje de salida será un pulso de onda cuadrada , variando entre el valor de la fuente [Es] y cero , y su voltaje promedio  $E_c$  será :

$$E_c = \frac{T_1}{T_1 + T_2} E_s = \frac{T_1}{T} E_s = \beta E_s \dots (3)$$

Esto significa que el voltaje promedio [ $E_c$ ] varía con el promedio del tiempo durante el cual el switch está cerrado , con una regulación apropiada del promedio de este tiempo , el control del

voltaje es posible con la aplicación de este principio al control de un carro eléctrico es como sigue :

- donde
- Es = fuente de voltaje
  - S = switch
  - R = carga
  - E<sub>c</sub> = voltaje promedio aplicado a la carga
  - T<sub>1</sub> = intervalo de conducción (ON) del switch S
  - T<sub>2</sub> = intervalo de no conducción (OFF) del switch S
  - T = intervalo de switched (T<sub>1</sub> + T<sub>2</sub>)
- $$\frac{T_2}{T_1 + T_2} = \text{radio de conducción}$$

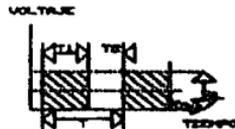
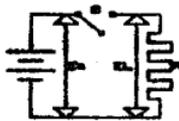


FIGURA 2.1 CIRCUITO BASICO DEL SISTEMA AUTOMATICO  
CHOPPER DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO

### 3.1.3 .- FUNCIONAMIENTO EN TRACCION

Si el motor de tracción es controlado por el circuito de la figura 2.1 la corriente es interrumpida , así que la variación del par llega a ser muy grande ; al mismo tiempo , puesto que la carga es inductiva , el voltaje anormal se genera por el ciclo de

encendido y apagado [ON/OFF] del switch .

Así el reactor [L] se conecta en serie con el motor de tracción y el diodo de rueda libre [Df] , se conecta inversamente en paralelo como se muestra en la figura 3.2 . ejecutando esto , la variación de la corriente es analizado y el voltaje anormal debido a la operación del switch es absorbido .

Cuando se cierra el switch [S] , la corriente de motor de tracción [Im] entra desde la fuente de potencia y aumenta mientras se almacena energía en el reactor [L] mostrando la curva AB de la figura 3.2b . cuando el switch es abierto la corriente de la fuente de potencia llega a cero y la corriente de motor [Im] debido a la energía almacenada en el reactor [L] fluye a través del diodo de rueda libre [Df] y la atenua , dado que la corriente de tracción baja , el cambio se representa por la curva BC de la figura 3.2b repitiendo la operación de encendido apagado [ON/OFF] el valor promedio de la corriente de motor [Im] de tracción se mantiene en cierto valor . Es evidente que esta explicación de la corriente [Is] que llega a la fuente de potencia es correspondiente solo a la parte sombreada de la figura 3.2b y su valor promedio [Is] es siempre más pequeño que la corriente de motor [Im] .

Suponiendo que no hay pérdidas en el circuito durante operación normal por la razón de la conservación de la energía .

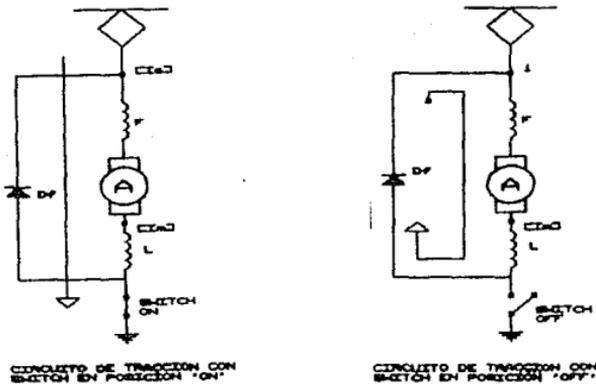
$$P_s = ( E_s I_s ) = ( E_m I_m ) = P_m \quad \dots (4)$$

por lo tanto

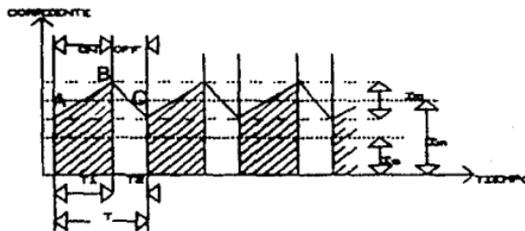
$$I_a = \frac{E_m}{E_s} I_m = \beta I_m \quad \dots (3)$$

por lo tanto la entrada es

$$P_s = E_s \beta I_m$$



3)



b)

FIGURA 32 - CIRCUITO ELECTRICO EN TRACCION.  
 FIGURA 33 - ONDAS DE PULSADO EN TRACCION.

Puesto que  $[E_s I_m]$  es una constante , la entrada  $[P_s]$  es proporcional a  $[E_m/E_s]$  ,  $[\beta]$  varía con la tensión de motor  $[E_m]$  lo cual -otra vez- varía con la velocidad  $[v]$  (de la ecuación 2) .

Consecuentemente la entrada  $[P_s]$  varía con la velocidad , Esto es solamente la potencia necesaria para avanzar , alimentada por la fuente de potencia .

Esto es la diferencia más importante entre el sistema convencional , el cual controla el suministro de potencia por cambio de resistencia .

### 3.1.4 .- FUNCIONAMIENTO EN FRENADO REGENERATIVO

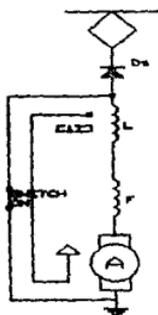
Nos referiremos al circuito de la figura 3.3a) para explicar este punto . Si el switch  $[S]$  se cierra , una corriente inicial debido al voltaje generado por el flujo residual o alguna excitación anterior , fluye a través del switch  $[S]$  hacia el reactor  $[L]$  donde es almacenado como energía . Si el switch es abierto , la corriente tiende a mantener el flujo en la misma dirección como resultado de la acción del reactor  $[L]$  . Esta dirección esta hacia la fuente de potencia a través del diodo de rueda libre  $[DF]$  esto es una regeneración de la potencia provocando un aumento de la corriente .

Cuando tomamos el valor promedio de la corriente del motor  $[I_m]$  como el valor promedio de la corriente de la línea  $[I_s]$  que regresa a la fuente de potencia (freno regenerativo) es :

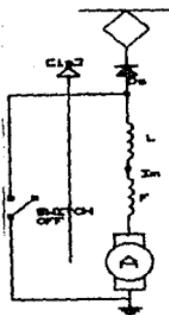
$$I_s = \frac{T_2}{T_1 + T_2} \quad I_m = (1 - \beta) I_m$$

El voltaje promedio del reactor [L] durante la operación normal llega a cero si la resistencia interna del reactor se desprecia. Así el voltaje promedio [Em] del motor es igual al voltaje promedio [Es] de la línea principal:

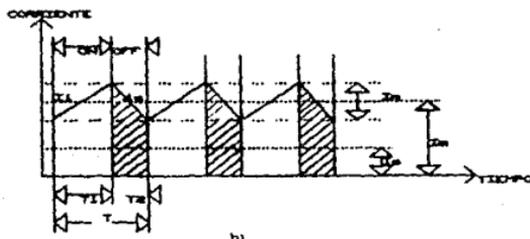
$$E_m = \frac{T_2}{T_1 + T_2} E_s = (1 - \beta) E_s$$



CONJUNTO DE FRENO REGENERATIVO CON SWITCH EN POSICIÓN 'ON'



CONJUNTO DE FRENO REGENERATIVO CON SWITCH EN POSICIÓN 'OFF'



b)

FIGURA 33. BUCILINTO DEL FRENO REGENERATIVO.  
DIFERENCIA DE FUERZA DE TRABAJO DEL FRENO REGENERATIVO.

Como contraparte del tiempo de alimentación de potencia (tracción) , el motor funciona durante el frenado regenerativo como un transformador de pasos en el cual la razón de transformación varia con la razón del tiempo durante el cual el switch está abierto , así que la generación de potencia tal como cuando el voltaje es más alto que el de la fuente de potencia , puede ser realizada , Esta es la principal diferencia entre el sistema regenerativo y otro convencional , en el cual la regeneración de potencia se da unicamente en alto rango de velocidad donde el voltaje de motor  $[E_m]$  es mas alto que el de la alimentación .

### *3.2 SISTEMA DE CONTROL [CHOPPER] POR EL PRINCIPIO DE CAMPO VARIABLE AUTOMATICO [AVF]*

#### *3.2.1 PRINCIPIOS BASICOS*

Como se ilustra en la figura 3.4 " circuito de potencia " el campo del motor serie convencional se divide en dos partes , una parte es conectada a la armadura en serie y la otra parte se conecta al circuito del sistema de control automático [chopper] de dos fases . las bobinas del campo  $[F1]$  y  $[F2]$  son conectadas de tal manera que sus flujos se suman .

En el circuito de potencia mostrado en la figura 3.4 la bobina de campo  $[F2]$  , esto es la bobina de campo variable automático [AVF] esta en paralelo con el diodo de rueda libre  $[FWD]$  , la corriente de la bobina de campo  $[F2]$  (AVF) disminuye con el aumento de la velocidad , esto es ; aumenta el radio de conducción y la

intensidad de campo disminuye continuamente .

Mientras la corriente de la bobina de campo [F1] se regula constantemente , cuando el radio de conducción alcanza el máximo , la intensidad de campo en la bobina de campo [F2] es muy baja y solamente el campo de la bobina de [F1] es efectivo .

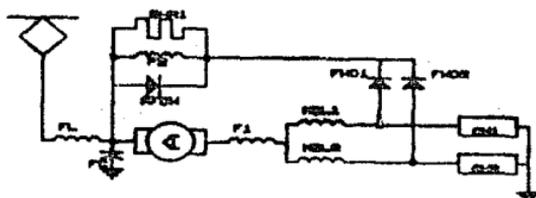


FIGURA 3.4 CIRCUITO DE POTENCIA

### 3.2.2 CARACTERISTICAS DEL CAMPO VARIABLE [AVF] A DOS FASES [DUPLEX]

En el circuito de la figura 3.4 , la armadura "A" y la bobina de campo serie (F1) estan conectados en 2 serie 2 paralelo (2S2P) y la bobina del campo variable automatico [AVF] con la bobina de campo [F1] estan conectados en 4 serie 1 paralelo (4S1P) . La ecuacion teorica caracteristica del campo variable automatico duplex [AVF duplex] se basa en la curva caracteristica del campo variable automatico [HVF] con un promedio de corte de potencia de 17% en traccion mostrandose en la figura 3.5 .

TESIS CON  
FALLA LE ORIGEN

i).

$$0 \leq \frac{T_1}{T} \leq 0.5 \left( 1 - \frac{RF2}{RSH} \right)$$

$$\frac{IF1}{IF2} = \frac{2[1-(2T_1/T)] [RSH/RF2]}{1+[1-(2T_1/T)] [RSH/RF2]}$$

ii).

$$0.5 [1-(RF2/RSH)] \leq \frac{T_1}{T} \leq 0.5$$

$$\frac{IF2}{IF1} = \frac{2[1+(T_1/T)] [RSH/RF2]}{1+(RSH/RF2)}$$

iii).

$$0.5 \leq \frac{T_1}{T} \leq 1.0$$

$$\frac{IF1}{IF2} = \frac{2 [1-(T_1/T)] [RSH/RF2]}{1+2[1-(T_1/T)] [RSH/RF2]}$$

donde :

[T<sub>1</sub>/T] = radio de conducción .

[RF2] = resistencia de la bobina de campo variable automático [AVF] .

[RSH] = resistencia del puenteo de la bobina de campo variable automático [AVF] .

[IF2] = corriente de campo variable automático [AVF] .

- [IF1 ] = corriente del campo de la bobina F1 .  
 [FL ] = reactor de filtro ( este reactor es usado para el filtrado del rizo de la corriente de línea y previene la interferencia inductiva .  
 [FC ] = condensador de filtro

El radio del campo del motor se calcula de la siguiente manera :

$$\left( \frac{8}{23} + \frac{15}{23} \times \frac{IF2}{IF1} \right) 100\% .$$

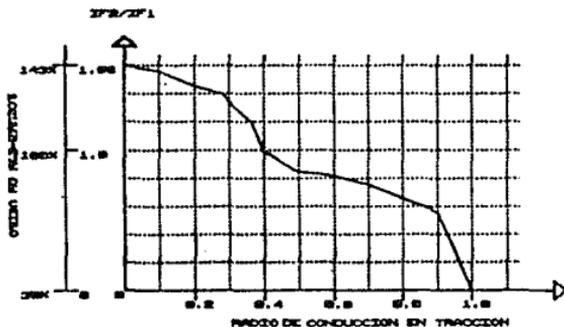
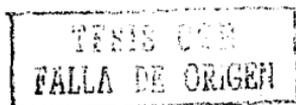


FIGURA 25. CARACTERÍSTICAS DEL CAMPO

### 3.3 BREVE EXPLICACION DEL CIRCUITO PRINCIPAL DE POTENCIA

#### 3.3.1 .- TRACCION

El diagrama de conexiones del circuito principal se muestra



en la figura 3.6 en una forma independiente .

De los cuatro motores de tracción las armaduras y los devanados de campo serie se encuentran conectados en una forma de 2 serie 2 paralelo [2S2P] permanentemente y el devanado de campo variable [AVF] está conectado en 4 serie 1 paralelo [4S1P] permanentemente , en serie con el diodo de rueda libre [FWD] para las dos fases de control automático (chopper) de una forma de campo variable [AVF]

Después de arrancar , la resistencia limitadora de corriente de arranque [HB1R] es cortocircuitada por el cierre del contacto [HB1] y el sistema de control automático [chopper] efectúa el control automático de la corriente de aceleración .

Porque en forma de campo variable [AVF] la intensidad de campo de los motores de tracción automáticamente disminuye con el aumento de la razón de conducción al aumentar la velocidad .

Detectando la máxima razón de conducción de los cuatro motores de tracción , el contacto [HB2] automáticamente cierra , para así cortocircuitar el control automático (chopper) [CH] y el reactor principal de aislamiento [MSL] , y al mismo tiempo la intensidad del campo alcanza un mínimo .

### 3.3.2 .- FRENADO REGENERATIVO

El diagrama esquemático de conexión en el circuito principal en frenado regenerativo se muestra en la figura 3.7 .

De los cuatro motores de tracción , las armaduras son conectadas a los devanados serie en conexión 2 serie 2 paralelo [2S2P]

permanentemente y el devanado de campo variable [AVF] en conexión 4 serie 1 paralelo [4S1P] permanentemente , igual que en el circuito de tracción ,pero el devanado de campo serie es de campos cruzados entre los grupos 2 serie 1 paralelo [2S1P] .

El devanado de campo variable [AVF] se usa como un devanado en cortocircuito . A través de un transformador [EXT] se alimenta de potencia de corriente alterna para surtir la corriente de excitación auxiliar .

### 3.3.3 .- FRENADO REOSTATICO

El diagrama de conexiones esquemático del circuito principal es el de la figura 3.8 .

El circuito es el mismo que el del frenado regenerativo , pero el contactor [LB1] se abre y aísla el motor de sus contactos de tensión de línea .

En frenado reostático el contactor [LB1] se cierra igual que en el frenado regenerativo por un momento después de que el frenado se aplica , pero se abre con la condición de que no haya señal de permiso de regeneración y la corriente del motor aumenta .

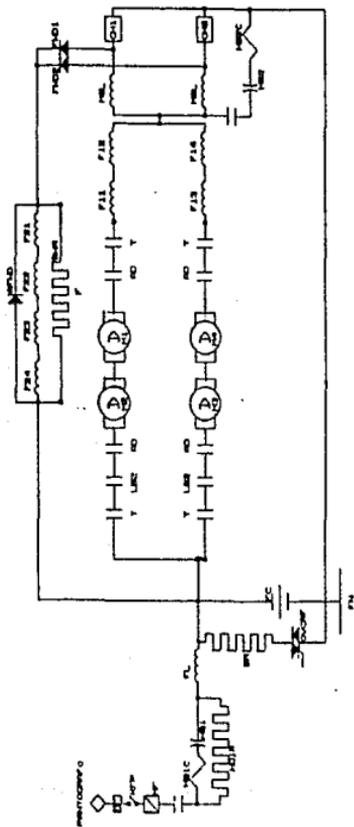


FIGURA 26 DIAGRAMA ESQUEMATICO DE CONEXION DEL CIRCUITO DE POTENCIA EN TRACCION





## CAPITULO 4

### SEÑAL PATRON

#### 4.1 DEFINICION DE SEÑAL PATRON

El mando a tracción o frenado que actua sobre todos los carros motores del metro ferreo se le llama señal patrón . La señal patrón es suministrada por los generadores 1 y 2 conocidos como [PS1] y [PS2] respectivamente , esta señal se tiene cuando hay una conducción manual del tren o bien por conducción del pilotaje automático .

#### 4.2 DIAGRAMA A BLOQUES DE LA SEÑAL PATRON

La unidad receptora de señal patrón recibe la informacion de esta señal desde el generador 1 y 2 transmitiendola a la compuerta de control de frenado y su diagrama a bloques es el mostrado en la figura 4.1 .

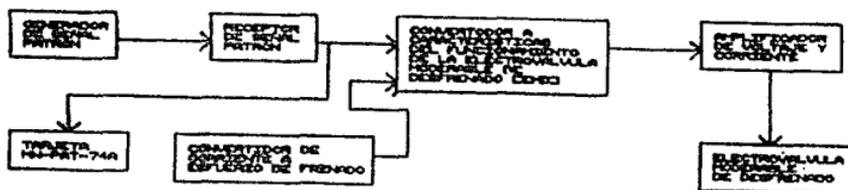


FIGURA 4.1 DIAGRAMA A BLOQUES DE LA SEÑAL PATRÓN

#### 4.3 EL MANIPULADOR

El manipulador es el elemento que controla la intensidad de tracción o de frenado de todos los carros, este elemento se encuentra montado uno en cada cabina del tren, es decir que hay dos manipuladores por tren, ya sean trenes de seis o nueve carros. El manipulador es el elemento encargado de controlar la intensidad de tracción y frenado por medio de la señal patrón que es controlada a su vez por una resistencia variable llamado reostato, que es parte del manipulador que se encargara de limitar la corriente de la señal patrón para comandar las intensidades de tracción o frenado.

La figura 4.2 nos ilustra el manipulador con sus partes mas sobresalientes, y en la tabla 4.1 se muestra en forma compacta las partes que lo componen.

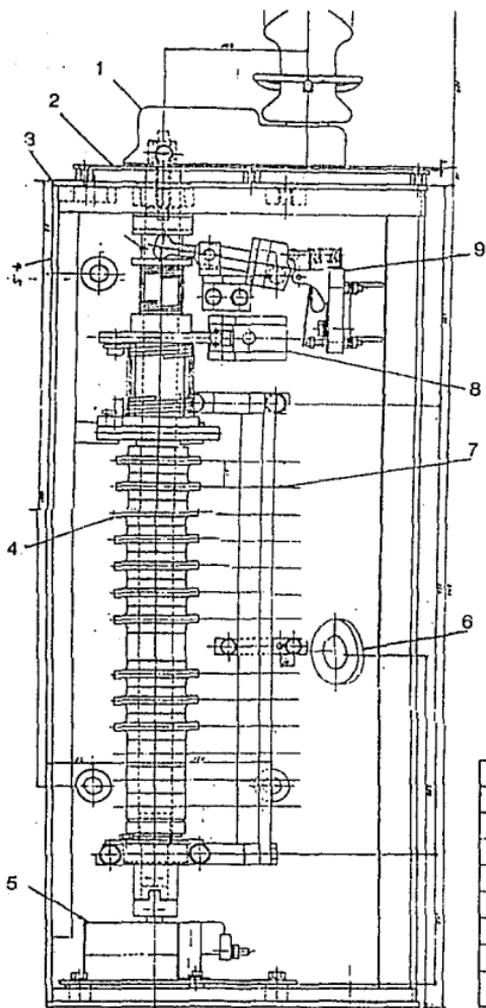


TABLA 4.1

4.- VOLANTE
5.- CARAVILA INDICADORA
3.- CARRERA DEL MANIPULADOR
4.- LEIVA
5.- RECEPTOR VARIABLE ( REOSTATO )
6.- SWITCH ( CONTACTO )
7.- ARBOL DE CONTACTOS
8.- SISTEMA DE RECORTE
9.- SISTEMA DE APILLO DE HOMBRE MUERTO

FIGURA 4.2 EL MANIPULADOR  
TABLA 4.1 PARTES DEL MANIPULADOR

#### 4.4 GENERADOR 1 DE SEÑAL PATRON

Este circuito produce una corriente cuyo valor es proporcional a la posición del manipulador conocida como señal patrón , con esta señal se elabora el patrón de tensión del motor durante la tracción y frenado .

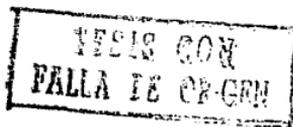
Este generador [PS1] contiene dos canales exactamente iguales que realizan la misma función , si se encuentra uno de ellos funcionando en forma normal llamado canal 1 pero si se detecta falla en su operación se deja fuera de servicio y es reemplazado por el canal 2 .

En la figura 4.3 se muestra partes del generador 1 y en la tabla 4.2 se enlistan algunas partes del mismo .

#### 4.5 GENERADOR 2 DE SEÑAL PATRON

En el generador PS2 de señal patrón se reciben las siguientes informaciones para verificar o modificar la señal de salida :

Hilo 19M	Información de que el manipulador esta en tracción
Hilo 13M	Información de que el manipulador esta en frenado
Hilo 67P	Información de que se encuentra en conducción limitada a tracción [T2] (CLT2) para que la tracción sea limitada a tracción [T2] .
Hilo 39	Da una tierra para obtener una señalización en la cabina de " mando continuo fuera " , que indica que



hay falla en la señal patrón y se ha cambiado al canal 2 del generador 1 de señal patrón .

A continuación se muestra en la figura 4.4 el generador 2 de señal patrón , y en la tabla 4.3 se enlistan partes del mismo y su función .

#### 4.6 RECEPTOR DE SERIAL PATRON

El receptor de señal patrón se localiza en el bloque de control electrónico (BCH) de cada carro motriz .

Estos mismos se encuentran conectados galvanicamente como se muestra en la figura 4.5 .

La corriente de señal patrón es convertida a señal de tensión por este receptor , donde según el valor de esta señal patrón sera el valor de la señal de tensión y este receptor comandara los diferentes grados de tracción o frenado según lo que se mande desde el manipulador en la cabina .

Se hace la aclaración que los terminos desde este momento de generador 1 y generador 2 de señal patrón se manejara solo de generador patrón , ya que como lo muestra la figura 4.6 la interconexión de los dos generadores forman uno solo que depende uno de otro pero que en conjunto estan efectuando las mismas condiciones de operación .

En la figura 4.7 mostramos algunas partes que compone el receptor de señal patrón .

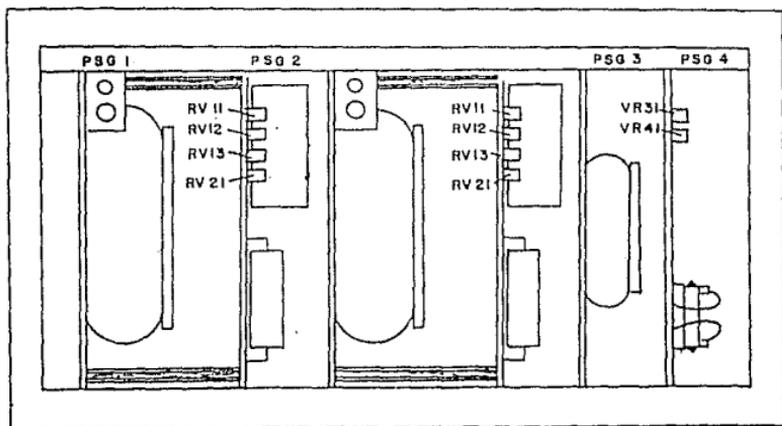


TABLA 4.2	
TARJETA PSG1	CIRCUITO DE GENERACION DE CORRIENTE PATRON (CANAL 1)
TARJETA PSG2	CIRCUITO DE GENERACION DE CORRIENTE PATRON (CANAL 2)
TARJETA PSG3	CIRCUITO TRANSFORMADOR PARA LAS ALIMENTACIONES DEL GENERADOR DE SEÑAL PATRON
TARJETA PSG4	CIRCUITO DE ELABORACION DE LIMITES PARA TRACCION (T1) Y FRENADO (F1)
RV11	POTENCIOMETRO DE AJUSTE DE 100 mA
RV12	POTENCIOMETRO DE AJUSTE DE 82 mA
RV13	POTENCIOMETRO DE AJUSTE DE 25 mA
RV21	POTENCIOMETRO DE AJUSTE DE 70 mA
VR31	POTENCIOMETRO DE AJUSTE DEL LIMITE DE TRACCION A T1 (70 mA)
RV41	POTENCIOMETRO DE AJUSTE DEL LIMITE A FRENADO F1 (82.5 mA)

FIGURA 43 IDENTIFICACION DE LAS PARTES DEL PATRON  
 TABLA 4.2 PARTES DEL OBTENIDOR 1 DE SEÑAL PATRON

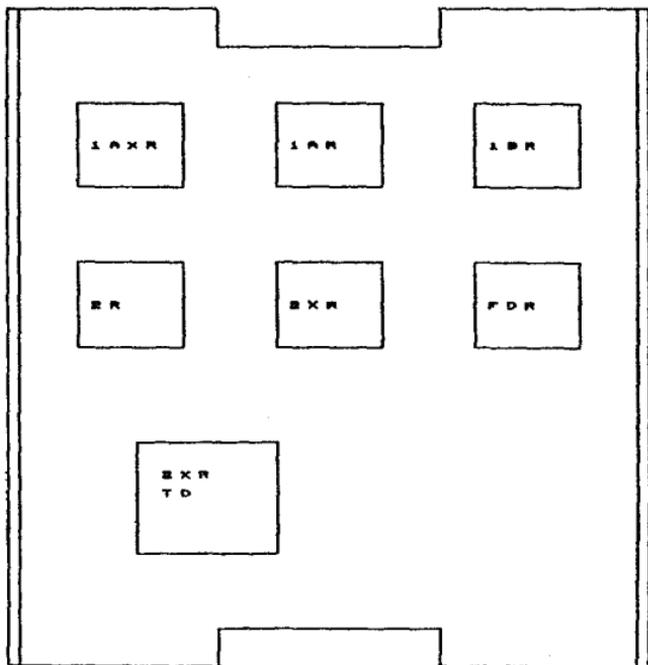


TABLA 4.3

RELEVADOR 1BR	DETECTOR DE FALLA DE SEÑAL PATRON EN CANAL 1
RELEVADOR 1AR	RELEVADOR ENERGIZADOR DEL RELEVADOR 1AXR
RELEVADOR 1AXR	RELEVADOR QUE PROVOCA SEÑALIZACION EN CABINA DE FALLA DE SEÑAL PATRON EN CANAL 1
RELEVADOR 2XR	INDICADOR DE QUE HUBO UNA FALLA DE SEÑAL PATRON
RELEVADOR 2R	DETECTOR DE FALLA DE SEÑAL PATRON EN CANAL 2
RELEVADOR FDR	CONUTADOR DE CANAL 1 POR CANAL 2

FIGURA 44 GENERADOR 2 DE SEÑAL PATRON  
TABLA 43 PARTES DEL GENERADOR 2

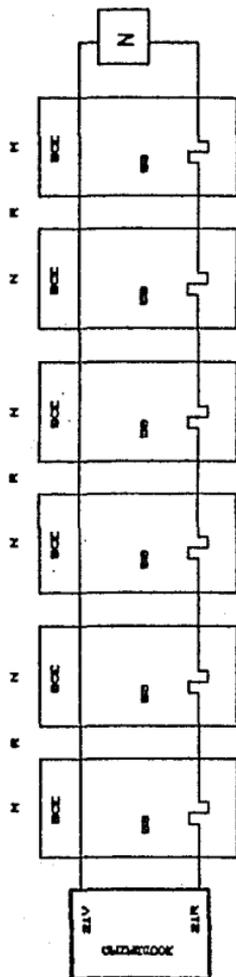
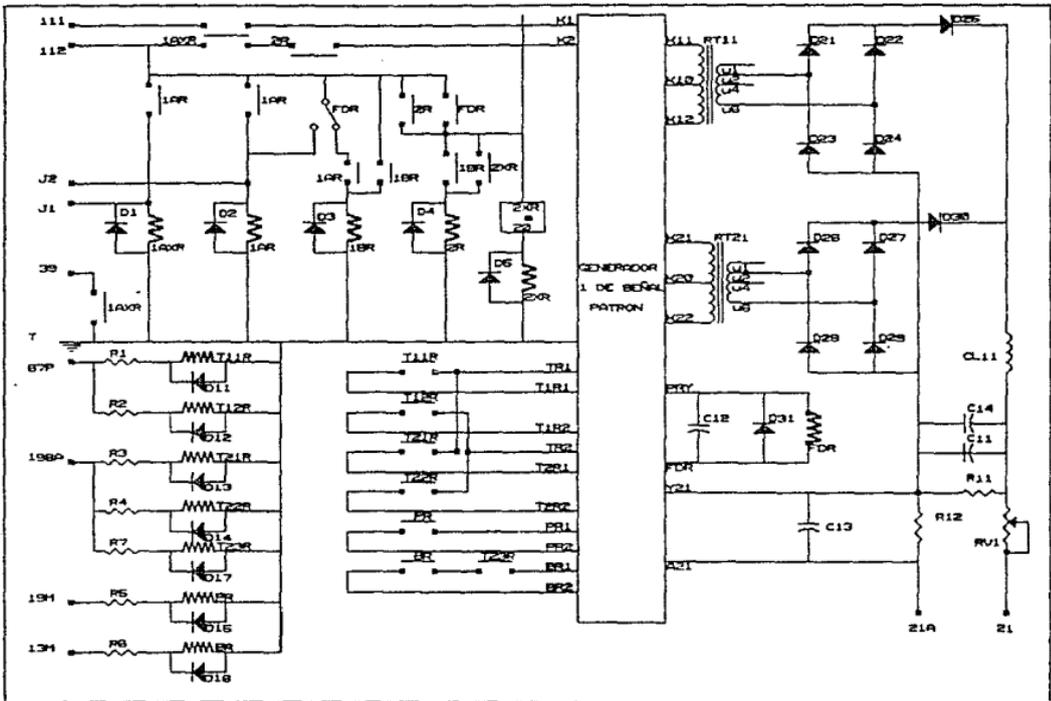


FIGURA 45 INTERCONEXIÓN DE LOS RECEPTORES  
DE SEÑAL PATRÓN

PLAN 45 - INTERCONNECTION DE L'UN GÉNÉRATEUR  
 DE 250 VA PATRON



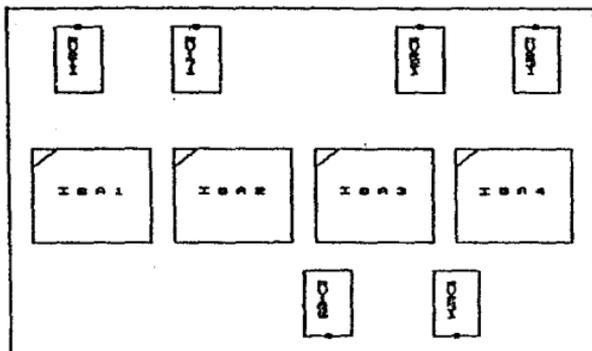


TABLA 4.4

RV 211	POTENCIOMETRO DE AJUSTE DE GENSAL (PGGL1) A 3.6 VOLTS C.D.
RV 171	POTENCIOMETRO DE AJUSTE DE 8 VOLTS C.D.
RV 231	POTENCIOMETRO DE AJUSTE DE CORRIENTE LOCAL PARA ELECTROVALVULA MODIFICABLE DE DESFRENO (EHD) DE 204 mA .
RV 235	“ “ “ “
RV 221	POTENCIOMETRO DE AJUSTE DE CORRIENTE PARA CARRO REHOLQUE (R) DE LA ELECTROVALVULA MODIFICABLE DE DESFRENO (EHD) 102 mA .
RV 165	“ “ “ “
IBA n	AMPLIFICADOR DE AISLAMIENTO

FIGURA 42 RECEPTOR DE SEÑAL PATRON

TABLA 44 ALGUNAS PARTES DEL RECEPTOR DE SEÑAL PATRON

## CAPITULO 5

### MANIPULADOR Y GENERADOR DE SEÑAL PATRON

#### 5.1 CARACTERISTICAS Y OPERACION DEL MANIPULADOR

- 1.- El manipulador cuenta con una caratula donde señala los tipos de posiciones en que se puede encontrar el manipulador siendo estas posiciones posibles las siguientes :

T1 , T2 , T3 , T4 , T5 , N , F1 , F2 , F3 , F4 , F5 , F6 , FU.

donde

T : indica que el manipulador se encuentra traccionando .

F : indica que el manipulador se encuentra en frenado .

N : indica que se encuentra en la posición neutra .

FU : frenado de urgencia .

n : número que indica intensidad de tracción o frenado .

- 2.- Cuenta con unos topes detectores de seguridad para las posiciones de T1 , TS , N , F6 y FU , esto es mas que nada para la sensibilidad del conductor para indicarle sin necesidad de observar el indicador de la posición en que se encuentra .
  
- 3.- En caso de liberar repentinamente el manipulador estando en cualquier posición de tracción , este cuenta con un sistema de resorte que provoca que el manipulador se coloque en una posición equivalente de frenado , es decir que si el manipulador se libera repentinamente de una posición de tracción de [T4] , el sistema lo enviara a una posición de frenado de [F4] .
  
- 4.- Es del tipo de mando continuo .
  
- 5.- Efectua conexiones para alimentación de diversos hilos durante la tracción , neutro y frenado , por medio de un brazo que se extiende desde un extremo donde se encuentra el posicionador de las tracciones y frenados hasta el otro extremo donde se encuentra una resistencia variable llamada reostato . La conexión de estos hilos que se encuentran en el brazo se logra por medio de contactos que abren y cierran por la acción de la rotación del brazo . Estos hilos que se encuentran en el brazo , son los que comandan las condiciones en que se encuentra el tren ya sea traccionando , frenando o en un estado neutro .

En el extremo del reostato el movimiento del manipulador afectara en la posición de la resistencia , ya que el brazo cuenta con una escobilla , quien nos dara la impedancia del reostato , indicando para cada posición del manipulador una impedancia especifica , y por logica una corriente especifica para cada posición del manipulador .

En la tabla 5.1 se muestra la impedancia y corriente que se tiene para cada posición del manipulador .

	IMPEDANCIA	CORRIENTE
	( ohms )	( miliamperes )
TRACCION 5 [T5]....	200	100.0
TRACCION 4 [T4]....	188	94.0
TRACCION 3 [T3]....	176	88.0
TRACCION 2 [T2]....	164	82.0
TRACCION 1 [T1]....	152	76.0
NEUTRO [N] ....	140	70.0
FRENADO 1 [F1]....	125	62.5
FRENADO 2 [F2]....	110	52.0
FRENADO 3 [F3]....	95	47.5
FRENADO 4 [F4]....	80	40.0
FRENADO 5 [F5]....	65	32.5
FRENADO 6 [F6]....	50	25.0
FRENADO DE URGENCIAS [FU].	0.0 ohms	0.0 miliamperes

Tabla 5.1 IMPEDANCIAS Y CORRIENTES PARA  
CADA POSICION DEL MANIPULADOR

El frenado de urgencia corte la señal patrón para que quede completamente el tren bloqueado y logre su paro total en la forma mas rápida .

Se puede observar que dependiendo de la cantidad de corriente que se envíe del manipulador es la característica del tren , ya que si se esta censando una corriente de 70 miliamperes , se sobre-entiende que el tren se encuentra en paro total , pero cuando el valor de la corriente es mayor a los 70 miliamperes significa que el tren se encuentra en algún grado de tracción es decir en movimiento .

Y cuando la corriente es menor a los 70 miliamperes se entiende que el tren esta frenando .

En la figura 5.1 se muestra la gráfica de posición del manipulador contra la corriente de patrón .

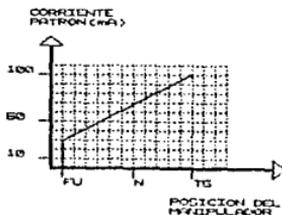


FIGURA 5.1 GRÁFICA DE CORRIENTE PATRÓN  
CONTRA POSICIÓN DEL MANIPULADOR

## 5.2 CARACTERÍSTICAS Y OPERACION DEL GENERADOR 1 Y 2 DE SEÑAL PATRÓN

Al generador 1 de señal patrón se le suministran 72 volts de corriente directa como se muestra en la figura 5.2 , obteniendo varios voltajes mas por medio de un oscilador royer que consta de los transistores [TR11] y [TR12] en el lado principal , teniendo en el secundario varias salidas que se utilizan de la siguiente manera :

- U1 , U2 , U4 : Para el circuito de regulación de corriente .
- U5 , U6 , U8 : Fuente de alimentación para el circuito de corriente directa .
- U13 , U10 , U16 : Fuente de alimentación para el circuito de relevación.
- U9 , U10 , U12 : Fuente de alimentación para el circuito de transmisión de señal patrón .

El generador 1 de señal patrón contiene un regulador automático de corriente [VRIC1] , que se retroalimenta para poder tener una señal de corriente con el menor error posible , la señal de corriente directa la envia al manipulador por medio del hilo [23M] hacia la resistencia variable del manipulador llamado reostato , obteniendo asi un nivel de voltaje que se transmite a los resistores [R454] , [R46] y al resistor variable [RV21] como tensión patrón , entrando a la pata tres del regulador automatico de corriente tres [VRIC3] comparandola con el voltaje patrón y si

la realimentación es menor , el regulador automático de corriente tres [VRIC3] hace conducir al transistor [TR21] y este al transistor [TR22] aumentando el valor de la señal patrón , el colector del transistor [TR22] se conecta a un transformador de tap central induciendo un voltaje al secundario y rectificandolo por el puente de diodos [D21-D24] filtrandolo por la bobina [CL11] y los condensadores [C11] y [C14] distribuyendo esta señal a cada uno de los carros por el hilo [21] y regresando por el hilo [21A] .

La realimentación de comparación hacia el regulador automático de corriente [VRIC3] se logra de la siguiente manera .

Existe una fuente que genera 24 volts de corriente directa formado por un transformador royer y un regulador automático de voltaje que se encuentra en el secundario , como esta señal es alterna la rectificamos y la filtramos al introducirla al regulador automático de voltaje formado por los transistores [TR33] y [TR34] obteniendo de esta manera 24 volts de corriente directa . este voltaje funciona como limites para los integrados [ISOIC1] y los amplificadores operacionales [opa1] y [opa2] .

[ISOIC1] : Este es el amplificador de aislamiento donde entra la informacion de la cantidad de señal patrón que existe en todo el tren enviandolo hacia el circuito de comparación del regulador automatico de corriente tres [VRIC3] como realimentacion y tambien a los detectores de falla de señal patrón que se componen por los

amplificadores operacionales [opa1] y [opa2] , en donde cada uno controla las siguientes características :

[opa1] .... TRACCION                      [opa2] .... FRENADO

### 5.3 LIMITACION A TRACCION [T1] Y FRENADO [F1]

Es necesario controlar el generador para cierta señalización, esto se logra limitando la cantidad de corriente de tracción y frenado en el primer grado [F1] y [T1] . Esto se logra de la siguiente manera y con referencia a la figura 5.2 .

Como se menciono con anterioridad que cada grado de tracción y frenado le correspondia una cantidad de corriente especifica y como el amplificador operacional [opa1] controla la tracción, para el caso de la limitación a tracción [T1] se tomara los 24 volts de corriente directa del oscilador [royer 2] y la resistencia variable [RV31] para ajustar una corriente correspondiente a tracción [T1] , de la misma manera para la limitación a frenado [F1] se consideran los 24 volts de corriente directa del oscilador [royer 2] y la resistencia variable [RV41] para ajustar una corriente especifica de frenado [F1] enviandolo al amplificador operacional [opa2] .

Teniendo en la resistencia variable [RV31] la referencia de 76 miliamperes equivalente a tracción [T1] y en la resistencia variable [RV41] 62.5 miliamperes que es la referencia a [F1] continuaremos con los amplificadores operacionales [opa1] y [opa2] .



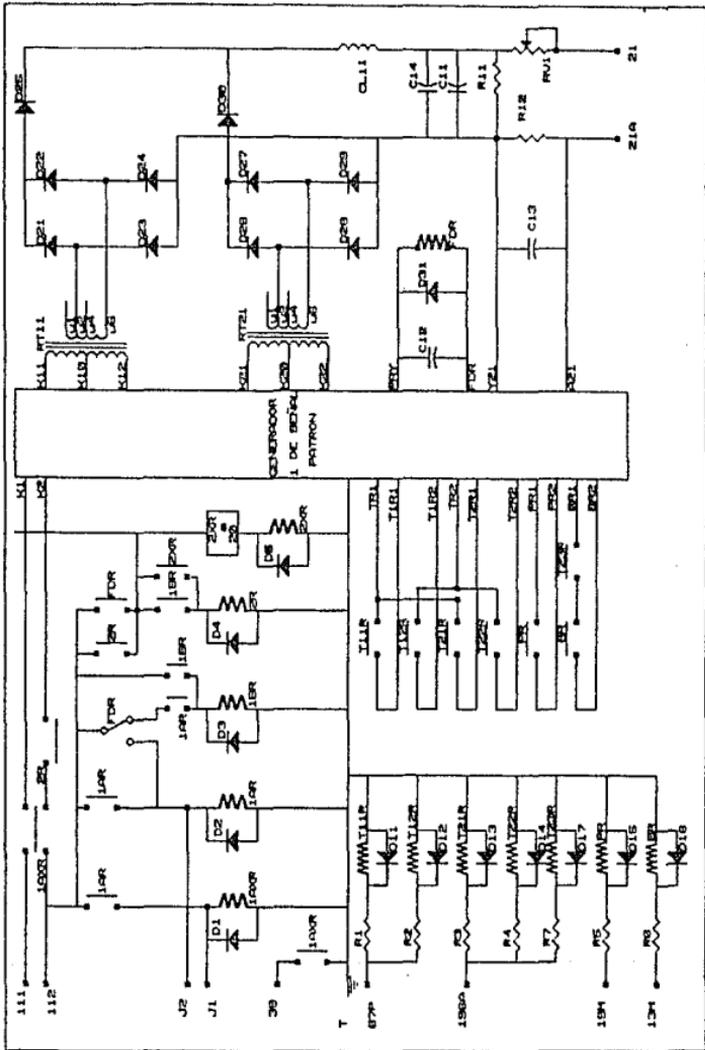


FIGURA 5.3 CIRCUITO DEL GENERADOR 1 DE SEÑAL PATRON

Teniendo en la resistencia variable [RV31] la referencia de 76 miliamperes equivalente a tracción [T1] y en la resistencia variable [RV41] 62.5 miliamperes que es la referencia a [F1] continuaremos con los amplificadores operacionales [opa1] y [opa2] .

Amplificador operacional [opa1] . Detector de falla a tracción [T1] : La limitación entrara a la pata inversora del amplificador operacional , esta información se comparará con la señal de realimentación de la señal patrón .

Amplificador operacional [opa2] , Detector de falla a frenado [F1] : La limitación entra a la pata no inversora , esta señal se compara con la señal de realimentación de señal patrón .

Estas limitaciones actuan de la siguiente manera :

Como seguridad para en buen funcionamiento del tren es necesario controlar la señal patrón , como se menciona anteriormente que en la resistencia variable [RV41] y en la resistencia variable [RV31] se encuentran corrientes de información correspondientes a tracción [T1] y de frenado [F1] y los compara con la señal patrón existente en todo el tren . Los dos circuitos formados por los amplificadores operacionales [opa1] y [opa2] detectan la falla en la señal patrón .

El manipulador envia su información al generador 2 de señal patrón que se muestra en la figura 5.3 y este cuenta con una serie de contactos que tiene su secuencia para cada posición del manipulador , es decir , si se esta traccionando o frenando el

tren o si se encuentra en posición neutra . Por lo que si existe una falla los relevadores existentes en el generador 2 de señal patrón detectan si hay falla en la misma . Gracias a los amplificadores operacionales [opa1] , [opa2] y al generador 2 se puede detectar si hay falla en la señal patrón , funcionando de la siguiente manera :

Si por ejemplo se esta comandando algun grado de frenado y como el relevador [BR] de la figura 5.3 del generador 2 de señal patrón se enérgiza en condición solo de frenado , entonces se energizara , y si consideramos que tenemos falla de señal patrón veremos que es lo que pasa operando de la siguiente manera :

Si comandamos frenado , se enviara una cantidad de corriente que correspondiera a un grado de tracción , entrando asi a la pata tres del amplificador operacional [opa1] teniendo una señal positiva pero como fue enérgizado el relevador [BR] antes del relevador [IAR] para automantenerse y provocar la energización del relevador [IAXR] permitiendo de esta forma el cambio de canal 1 por el canal 2 del generador 1 de señal patrón , cuando se energizo [IAXR] se aterriza de esta forma un hilo para señalizar en la cabina del conductor la instrucción de " Mando Continuo Fuera " , que es una indicación de que fue detectada falla en la señal patrón en el canal 1 y que se ha cambiado al canal 2 . Aun cuando se haya realizado el cambio de canal el relevador [IAR] permanecera energizado y por lo tanto el relevador [BR] estara energizado . En caso de que ocurriera falla de señal patrón despues de haber pasado al canal 2 se energizara el relevador [2R] cortando asi la

alimentación de los dos canales del generador 1 de señal patrón y quedando accionados los relevadores del generador 2 de señal patrón .

Cuando hay falla de señal patrón por primera vez queda energizado el relevador [2XP] , cuando se presenta la segunda falla de señal patrón despues de dos segundos se energizará el relevador [2R] por lo que a ninguno de los dos canales se alimentara ya .

La llave de frenado de seguridad [KFS] comanda un grado de frenado [F6] ya sea estando en paro total o tambien funcionara cuando el tren este en movimiento , pero siempre y cuando no rebase la velocidad de 15 km/hr , en caso de que se aplique cuando el tren este corriendo a mayor velocidad , esta señal no afectara a las condiciones del tren , no sera hasta que durante el paro alcance los 15 km/hr para que automaticamente se aplique un frenado de grado [F6] . Esta llave tiene la capacidad de cortar la señal patrón del generador y comandar un grado de frenado de [F6] , esto se logra energizando el relevador [T23R] que tiene sus contactos normalmente cerrados y al energizarse estos se abren , cortando de esta forma la señal patrón , esto no provocara cambio de canal , Cuando se comande un frenado y el generador 1 de señal patrón falla y manda un grado de tracción sucedera lo descrito anteriormente .

Dentro del generador 2 existe un relevador que controla las funciones en que se encuentra el tren , para mayor detalle se muestra en la tabla 5.2 los relevadores del generador 2 de señal patrón y sus condiciones de operación .

Estos relevadores reciben 72 volts transmitiendolo al generador 1 para su funcionamiento

Para ubicarnos cabe decir que el generador 1 son serie de contactos que controlan las condiciones de operacion en que se encuentra el tren enviando esta informacion al generador 1 para que enlace en forma electronica las señales de informacion y se tenga control del tren .

LADO DE LA BOQUINA		CONDICION	LADO DEL CONTACTO	
HILO	RELEVADOR		HILO	CONDICION
67P	T11R T12R	SE ENERCEIZA POR LA SEÑAL DE TRACCION A LA LECTACION DE TRACCION (T11)	T11A T11B T11C T11D	LENETA LA SEÑAL CORRIENTE DE SEÑAL DE TRACCION A T1
A88A	T21R T22R T23R	SE ENERCEIZA POR RELEVADOR EN DESERVICIADO	T21A T21B T21C T21D	LENETA LA SEÑAL PATRON A F1
			S21A S21B	EL RELEVADOR EN CONTRA LA CORRIENTE DE SEÑAL PATRON EN CASO DE DETECCION DE FALLA .
18H	PR	SE ENERCEIZARA POR COMANDO A TRACCION	PR1	HABRAN CUANDO HAY SEÑAL DE TRACCION Y LEVANTA ESTA SEÑAL EN CASO DE DETECCION DE FALLA
13H	SR	SE ENERCEIZA POR COMANDO A FRENADO	SR1 SR2	SEÑAL CUANDO EXISTE SEÑAL DE FRENADO Y LEVANTA ESTA SEÑAL EN CASO DE DETECCION DE FALLA

TABLA 52 RELEVADORES DEL GENERADOR 1 DE SEÑAL PATRON CON CONDICIONES

## CAPITULO 6

### RECEPTOR DE SEÑAL PATRON

#### 6.1 GENERALIDADES

Se ha tomado un solo capitulo para la parte del receptor ya que por su importancia y desempeño se tiene mas consideración , esto no le resta importancia al manipulador ni al generador , no es mas que , la consideración de que en este elemento de la señal patrón es donde se efectuan toda serie de calculos electronicos de las condiciones como se comportara el tren , esta fue la razón mas importante por la que se opto por separar este elemento en un solo capitulo .

#### 6.1.1 EFECTOS DE LA SEÑAL PATRON

##### EN EL RECEPTOR

En la figura 6.1 se muestra el circuito del receptor de señal

patrón , en donde para comenzar su estudio , diremos que la señal patrón llega por los bornes (22V) y (22R) pasando por el puente de diodos (D211-D214) para mantener la polaridad constante de la señal , ya que esta cambia dependiendo de la cabina con que se este conduciendo , pasando despues al amplificador de aislamiento (ISA1) . Este es necesario para aislar el circuito de la logica con el circuito de la señal patrón . La salida de este amplificador de aislamiento que tiene una ganancia que se muestra a continuación :

$$G = \frac{(-X1) (-Y1)}{10}$$

Esta información se envia al amplificador operacional (opa1) que es utilizado para invertir la impedancia e invertir el signo de la salida llamada (PSGL1) enviandolo a una tarjeta de munitoreo , al circuito elaborador del patrón del freno neumatico y al amplificador operacional (opa2) que produce la salida de la señal (PSGL2) este amplificador operacional le proporciona una cierta ganancia a su entrada y su salida se envia a las tarjetas logicas MN-PAT-74A y MN-DC-15A que utilizan la información de estas señales como se menciona en el apartado 6.1.2 .

#### 6.1.2 .- TARJETA LOGICA MN-FAT-74A

Esta tarjeta elabora las siguientes señales :

- Patrón de tensión de motor
- Patrón de corriente para la traccion
- Patrón de corriente de frenado

A esta tarjeta le llega una información de señal patrón que depende de la posición del manipulador conocida como señal [PSGL2]. si el manipulador esta en una posición de tracción [T1] entonces la señal [PSGL1] se maneja para que se tenga una señalización adecuada para la tracción [T1] . entonces la señal [PSGL1] se suma a una señal de referencia para aumentar el comando de tracción a los motores .

Esta tarjeta temporiza el patrón de tensión para evitar variaciones bruscas al pasar de tracción a neutro y viceversa en el manipulador . De la misma forma en esta tarjeta se genera la corriente patrón para la tracción , contando tambien con su temporizador para evitar variaciones bruscas en los cambios bruscos del manipulador .

Esta tarjeta tambien controla la continuidad de las señales necesarias para que el sistema de control automático [chopper] se puentee para mantener la corriente de motores .

Al igual que la tracción es necesario controlar la corriente de los motores en frenado , este control se efectua en esta misma tarjeta , fabricando la característica linealizada de la corriente contra el par motor , transforma la señal patrón en una señal de corriente de motor , usando la característica par-corriente del mismo .

El freno eléctrico abarcara hasta un grado de frenado de [F3] y lo restante sera completado con freno neumático . La corriente patrón para freno reostático se analiza en parte distinta de esta misma tarjeta , esto se provoca a raíz de no autorización de recuperar , es decir que la línea no esta receptiva para que funcione con

freno regenerativo

### 8.1.3 .- TARJETA LÓGICA MN-DC-ISA

Esta tarjeta esta compuesta principalmente de detectores de parametros que son los siguientes :

- a) Detector de sobrecorriente de motor ; Cuando sucede esto se ordena que se abra el circuito principal de potencia que es el que suministra los 750 volts de corriente directa .
- b) Detector de sobrecorriente de línea [ISOLD] ; Cuando la corriente que entra o sale de la línea es demasiado alta se manda abrir en circuito de potencia .
- c) Detector de sobrecorriente de fase [IPHOD] ; Cuando se presenta esta situación , se manda abrir el circuito principal de potencia .
- d) Detector de señal patrón ; Se censa que la señal patrón este dentro de la zona de frenado - neutro .
- e) Detector de señal patrón ; Se censa que la señal se encuentre en la zona de tracción - neutro .
- f) Detector de corriente diferencial de línea [ISDFD] ; Este detecta las diferencias entre las corrientes principales de entrada y las de salida , si se detecta diferencia se manda abrir el circuito principal de potencia .
- g) Detector de corriente de motor ; Aquí se detecta si existe o no la corriente de motor , si esta corriente de motor [Im máxima] es mayor a la referencia se cambia a un estado positivo . En caso de frenado reostático el nivel de la referencia aumenta .

- h) Detector de 20 km/hr : Se toma la medida de la velocidad del tren y se compara con la referencia establecida de 20 km/hr y si la velocidad pasa de esta referencia entonces se puede frenar reostaticamente .
- i) Detector de desbalanceo entre corrientes 1 y 2 de motor [IMOFD]  
El promedio de las corrientes de rama 1 y 2 de motor  $[(I_{m1} + I_{m2}) / 2]$  se compara con la corriente maxima  $[I_{m \text{ máxima}}]$  , en condiciones normales la corriente de la rama 1 es igual a la corriente de la rama 2  $[I_{m1} = I_{m2}]$  indicando que se encuentra balanceado , en caso contrario se mandara inactivar la motriz que contenga una diferencia de corriente en motores .
- j) Detector de baja tensión de 5 volts ; Este solo es un detector para las alimentaciones de todas las tarjetas logicas , logrando este control por medio de un comparador .

#### 6.1.4 .- GENERALIDADES DE LA ELECTROVALVULA MODERABLE

##### DE DESFRENADO (EMD)

La electroválvula moderable de desfrenado [EMD] es una electroválvula de logica inversa , que al circular la mayor corriente por su bobina no hay bloqueo y cuando se impide la circulacion de corriente a travez de ella el bloqueo que se produce es el mayor , es decir 4.8 bars de presión para el metro ferreo .

Nota : Todos los puntos tratados de aqui en adelante son referidos al circuito de la figura 6.1 que es el plano del receptor de la

señal patrón .

## 6.2 INTERFACE DE CARGA VARIABLE

Con referencia a la figura 6.1 se localizan los amplificadores operacionales [opa29] y [opa30] que son los que realizan el control de carga y peso del tren realizandolo de la siguiente manera :

El amplificador operacional [opa29] convierte la señal de corriente de carga variable [VL2] en una señal de voltaje pasando al amplificador operacional [opa30] donde este genera la señal de carga variable [VL] , en donde este es proporcional al peso del carro .

## 6.3 CALCULO DEL ESFUERZO DE FRENADO

El amplificador operacional [opa3] convierte la señal de [FSGL1] a un esfuerzo de frenado a 3/4 de carga [CCM] ( Censor de carga minima) y el integrado [IC1] multiplica la señal de esfuerzo de frenado a 3/4 de carga [CCM] por la señal de [VL] dando como salida la señal del esfuerzo de frenado [Bf] .



#### 6.4 CIRCUITO QUE CONVIERTE LA MEDIDA DE LA CORRIENTE DE MOTOR A SU EQUIVALENTE EN SEÑAL PATRON

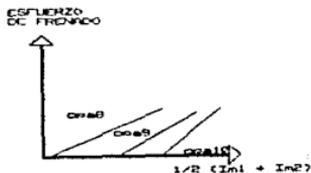
El amplificador operacional [opa7] calcula el promedio del primero y segundo grupo de motores como la suma de la corriente del motor 1 y la corriente del motor 2, todo dividido entre 2  $[(I_{m1}+I_{m2})/2]$ , los amplificadores operacionales [opa 8, 9, 10] convierten el promedio de las corrientes de motores a esfuerzo de frenado según las características de los motores. En cada circuito se tiene diferentes vías y ganancias y estas se combinan por medio del amplificador operacional [opa11] obteniendo una característica completa.

Cuando la entrada (corriente de motores  $[I_m]$ ) es pequeña la ganancia  $[G1]$  es determinada por el amplificador operacional [opa8] si continuamos aumentando la entrada del amplificador operacional [opa7] se tendrá una ganancia  $[G2]$  que será el resultado de la combinación de los amplificadores operacionales [opa8] y [opa9], al aumentar más la entrada, entonces la salida del amplificador operacional [opa10] se activa obteniendo así la ganancia  $[G3]$ . Como se pudo observar este circuito tiene varias ganancias que se introducen en el amplificador operacional [opa11] para obtener una señal generalizada, sin importar cual de los tres amplificadores operacionales este activado, dependiendo de la señal de entrada del amplificador operacional [opa7].

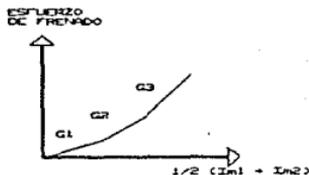
En las gráficas de la figura 6.2 se muestran a) las gráficas de la señal de salida del esfuerzo de frenado, y b) la gráfica de comportamiento de las ganancias que se provocan por la activación

de cada amplificador operacional .

El transistor [TR1] funciona cuando la señal de frenado tiene una señal logica de cero [BL4=0] la tension en la resistencia [R3] sera cero . y en las posiciones de neutro y traccion la señal de [BL4] sera de un nivel logico de 1 y la tension de la resistencia [R3] sera positivo y por lo tanto la salida de los amplificadores operacionales [opas 6 , 9 , 10] sera siempre cero .



a )



b )

FIGURA 62 GRÁFICA DE ESFUERZO DE FRENADO  
 GRÁFICA DE COMPORTAMIENTO DE G1, G2, G3

## 8.5 CIRCUITO QUE CALCULA EL PATRON DE FRENADO NEUMATICO

Esto se efectúa en los circuitos formados por los elementos siguientes : amplificadores operacionales [opa 5 , 6 , 18 , 19 , 20 , 27 , 28 , 31] y por el circuito integrado [IC2] que son utilizados de la siguiente manera :

### 1 ) DEFICIENCIA

El amplificador operacional [opa5] calcula la deficiencia del esfuerzo de frenado de la siguiente manera :

$$\text{deficiencia} = ( BT ) - ( \text{esfuerzo de frenado} )$$

### 2 ) DISTRIBUCION

El freno neumático es dividido entre los carros M , N , y R de la siguiente manera :

freno neumático para carro M

$$2/3 \times ( \text{deficiencia de carro M} )$$

freno neumático para carro N

$$2/3 \times ( \text{deficiencia de carro N} )$$

freno neumático para carro R

$1/3 X$  (deficiencia de carro M) +  $1/3 X$  (deficiencia de carro N)

### 3 ) LIMITES ADICIONALES

Los amplificadores operacionales [opa 18 , 19 , 20] calculan el máximo esfuerzo de frenado del carro [M] de acuerdo a la máxima desaceleración [  $\beta = 0.9 \text{ m/s}^2$  ] a  $3/4$  de carga . El circuito integrado [IC2] lo multiplica con la señal de carga [VL] y su salida es el máximo esfuerzo de freno neumático considerando la carga variable [VL] .

Cuando el esfuerzo de frenado del carro [M] es mayor que el máximo esfuerzo de freno neumático , entonces el amplificador operacional [opa6] baja el esfuerzo de freno neumático del carro [M] y el amplificador operacional [opa27] incrementa el esfuerzo de freno del carro [R] .

### 4 ) ESFUERZO DE FRENO NEUMATICO

El amplificador operacional realiza la sustracción del esfuerzo de frenado neumático del carro [M] .

El amplificador operacional [opa28] tiene como salida el esfuerzo de frenado neumático del carro [R] que corresponde a la deficiencia del carro [M] y este valor aumenta por la señal de los carros [N] seguidos por el circuito .

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

6.8 CIRCUITO DE CONVERSION A CARACTERISTICAS DE  
LA ELECTROVALVULA MODERABLE DE DESFRENADO (EMD)

a ) PARA CARRO "N"

Función que se ejecuta en los amplificadores operacionales [opa 14 , 15 , 16] que en conjunto funcionan de la siguiente manera :

Los amplificadores operacionales [opa 14 , 15 , 16] modifican la salida del amplificador operacional [opa28] linealmente en pasos de acuerdo a las características de la electroválvula moderable de desfrenado . El circuito trabaja en diferentes vías y ganancias para variar las condiciones de las características de la electroválvula moderable de desfrenado .

b ) PARA CARRO "M"

Función que se ejecuta en los amplificadores operacionales [opa 24 , 25 , 26] que en conjunto funcionan de la siguiente manera :

Los amplificadores operacionales [opa 24 , 25 , 26] modifican la salida del amplificador operacional [opa31] linealmente en pasos de acuerdo a las características de la electroválvula moderable de desfrenado [EMD] . El circuito trabaja en diferentes vías y ganancias para variar las condiciones de las características de la electroválvula moderable de desfrenado .

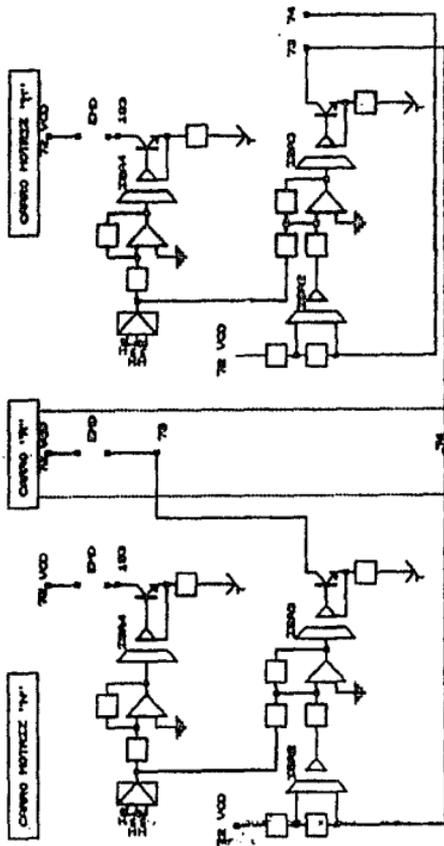
### 6.7 FRENO NEUMÁTICO PARA CARROS "R"

El freno neumático comandado para los carros [N] entra al amplificador de aislamiento [ISA2] por medio de la resistencia [R176] que proviene del amplificador de aislamiento [ISA3] y del transistor [TR221] del carro [N]. La polaridad de la salida del amplificador de aislamiento [ISA2] es invertida por el amplificador operacional [opa17] y se envía a la entrada del amplificador operacional [opa13] para que se envíe a la bobina de la electroválvula moderable de desfrenado [EMD] del carro [R].

### 6.8 SALIDAS A LAS BORINAS DE LAS ELECTROVALVULAS MODERABLES DE DESFRENADO [EMD]

La polaridad del amplificador operacional es invertida por el amplificador operacional [opa12] y entra al amplificador de aislamiento [ISA4] pasando después al amplificador operacional [opa23] para enviar su salida al transistor [TR231] que se conecta a la bobina de la electroválvula moderable de desfrenado del carro donde se encuentra el receptor (por ejemplo carro M). Cuando el transistor [TR231] se encuentra operando, entonces en el circuito el voltaje que se envía de la electroválvula moderable de desfrenado baja por la resistencia [R235] para mantener el mismo nivel de voltaje de entrada en el amplificador operacional [opa23]. En el carro [M] el transistor [TR221] se conecta a la bobina de la electroválvula moderable de desfrenado del carro [R], que es parte de la señal de frenado para el carro [R].

completandose con la señal de salida del transistor [TR221] del receptor del carro [N] que entra por la resistencia [R176] para enviarlo al amplificador de aislamiento [ISA2] del carro [M]. Lo anterior se muestra en el circuito a bloques de la figura 6.3.



PARA COLECTAR LA ELECTROVALENTA INDETERMINABLE DE CUALQUIER CARRO DEL CARRO REVOLUCIONAR SE CONECTA LA CARRO AL CARRO 79 DEL RECEPTOR DEL CARRO MOTRIZ N, DESPUES EL CARRO 79 DEL RECEPTOR EN EL CARRO 79 DEL RECEPTOR DE LA MOTRIZ M.

FIGURA 6.3. CIRCUITO A BLOQUES DE LA ELECTROVALENTA INDETERMINABLE DE CUALQUIER CARRO DEL CARRO REVOLUCIONAR EN EL CARRO MOTRIZ M.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

## 6.9 FUENTE DE ALIMENTACION

A fin de mantener la posibilidad de que funcione el equipo descrito anteriormente aun cuando no se tenga tension en la línea o por una sección neutra , se tiene una fuente formada a base de las baterias de emergencia de baja tension .

Los transistores [TR311] y [TR312] y el transformador [RST] forman un circuito oscilador , el secundario del transformador esta conectado a unos reguladores automáticos de voltaje de  $\pm 15$  volts , donde ambos funcionan identicamente . Se describira el primero .

El transistor de potencia [TR231] se controla con el transistor [TR322] , la salida del transistor [TR231] se realimenta con las resistencias [R234] [R231] y [R352] y el transistor [TR323] , este controla la corriente de base del transistor [TR322] usando el voltaje del diodo zener [DZ321] . Por ejemplo si la salida del transistor [TR231] aumenta , el voltaje de la resistencia variable [RV231] aumenta , la corriente de base del transistor [TR322] disminuye y la salida del transistor [TR321] disminuye .

## 6.10 ALGUNOS VALORES CARACTERISTICOS EN EL

### RECEPTOR DE SEÑAL PATRON

Todo lo descrito anteriormente tiene como objetivo conocer el funcionamiento del equipo de control en tracción y frenado por medio de la señal patrón en los motores de tracción del metro ferreo . Con todas las bases dadas y encontradas en esta tesis se obtuvieron estas tablas que a continuación se mostraran que

corresponden a valores de los circuitos de este capítulo .

Estas tablas se efectuaron con el propósito de conocer las respuestas características del funcionamiento del receptor ; y por consiguiente las condiciones en que se encuentra el tren .

Ahora explicaremos lo respecto a las tablas de valores .

Para los encabezados de las tablas se considero el nombre de la salida de elemento electrónico o de su nombre conocido y que se muestra en la figura 6.1 .

TABLA "A"					
VALORES CLASICOS DE SENAL PATRON HASTA LA SENAL POGLE					
POSICION DE MANIPULADOR	SEÑAL PATRON EN mA	SEÑAL PATRON EN VOLTS	ISA 1 (VOLTS)	PGOL1 (VOLTS)	PGOLE (VOLTS)
TS	160	5	5	-5	4.77
T4	64	4.7	4.7	-4.7	4.37
T3	68	4.4	4.4	-4.4	4.07
T2	62	4.1	4.1	-4.1	3.8
T1	76	3.8	3.8	-3.8	3.6
N	70	3.5	3.5	-3.5	3.2
F1	82.5	3.125	3.125	-3.125	2.7
F2	86	2.75	2.75	-2.75	2.42
F3	47.5	2.375	2.375	-2.375	2.045
F4	40	2.0	2.0	-2.0	1.87
F5	32.5	1.625	1.625	-1.625	1.597
F6	25	1.25	1.25	-1.25	1.32
FU	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.33

TABLA "B"			
VALORES CARACTERISTICO DEL SENSOR DE CARGA ( VLR )			
	CARGA / CARRIO	N (VOLTS)	M (VOLTS)
VLR	VACIO	4.1	4.8
	A 3/4 DE CARGA	9.73	7.88
	A 1/4 DE CARGA	7.45	6.82
	SOBRECARGADO	0.07	6.88
VL	VACIO	-6.97	-7.88
	A 3/4 DE CARGA	-6.64	-10.81
	A 1/4 DE CARGA	-10.97	-11.18
	SOBRECARGADO	-12.83	-12.82

TABLA "C"  
VALORES CARACTERÍSTICOS DE "BT" Y DE "BT1" DEPENDIENDO DE OTRAS  
MOTRIZ Y DEL GRADO DE FRENO

FRE- NANC	B	BT					
		VOLTIO		A 374 DE GRASA		A 474 DE GRASA	
		CORRIEN. H.	CORRIEN. H.	CORRIEN. H.	CORRIEN. H.	CORRIEN. H.	CORRIEN. H.
N	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
F1	-1.019	0.71	0.762	0.902	1.07	1.05	1.13
F2	-2.01	1.4	1.543	1.827	2.11	2.09	2.24
F3	-3.010	2.1	2.319	2.8	3.17	3.13	3.36
F4	-4.02	2.8	3.067	3.67	4.22	4.16	4.48
F5	-3.03	3.5	3.863	4.67	5.29	5.21	5.61
F6	-6.03	4.2	4.63	5.61	6.34	6.25	6.72
FU	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

NOTA "A"  
CUANDO TENEMOS EN FRENO (FE) 1.25 MILIAMPERES EN PSGL1, EN BETA  
TENEMOS 5.41 VOLTS, TENIENDO ASI EN LA SALIDA DEL AMPLIFICADOR  
OPERACIONAL (CON 20) SATURACION A +15 VOLTS,  
EN FRENO (FE) LA SENAL DE PSGL1 VALE 6.62 VOLTS Y EN BETA  
TENEMOS 5.03 VOLTS POR LO QUE LA SALIDA DEL AMPLIFICADOR OPERACIONAL  
(CON 20) TIENE +15 VOLTS.

TABLA "D"  
RELACION DE LA INFORMACION DE CORRIENTE DE MOTOR 1 Y 2  
1 000 AMPERES = 10 VOLTS

CORRIENTE DE MOTOR	CON 11 (VOLTS)	AMPLIFICADORES QUE ACTUAN		
		OPAR	OPAR2	OPAR3
100 AMPERES = 1.25 VOLTS	-0.180	H		
400 AMPERES = 5.0 VOLTS	-2.375	H	H	
700 AMPERES = 8.75 VOLTS	-5.754	H	H	H

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

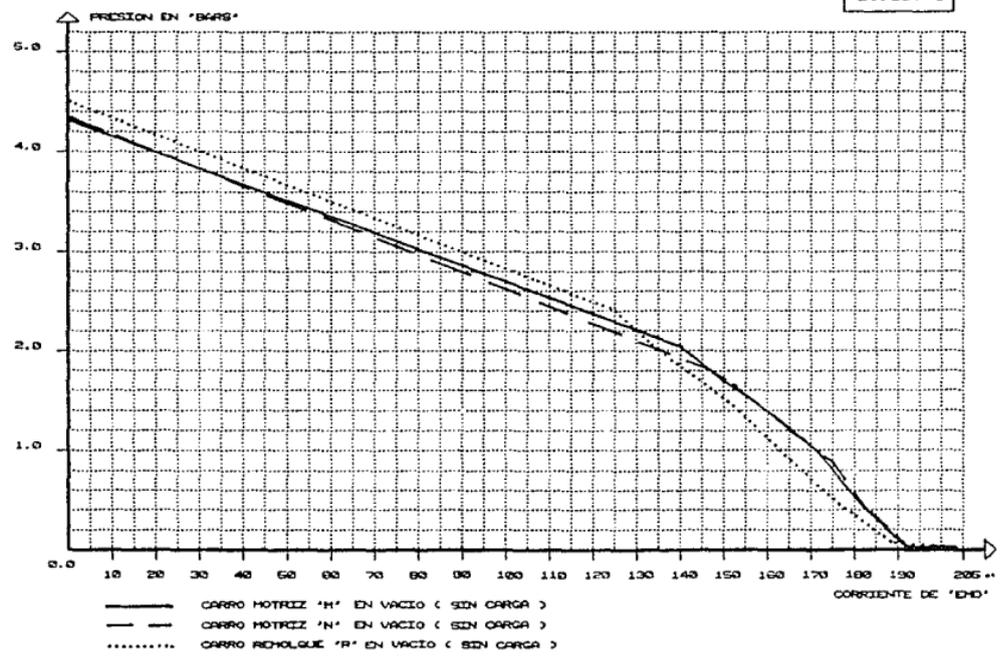
LA CORRIENTE DE SEÑAL PATRON QUE SE APLICA POR EL GENERADOR DESPUES DE PROCESARLA EN EL RECEPTOR , PROVOCA LAS SIGUIENTES SALIDAS DE CORRIENTE PARA LA ELECTROVALVULA MODIFICABLE DE DESFRENADO (EDM) QUE ACCIONARA DE ESTA FORMA EL CILINDRO DE AIRE , PROVOCANDO UNA PRESION DE AIRE EN LAS BALATAS .

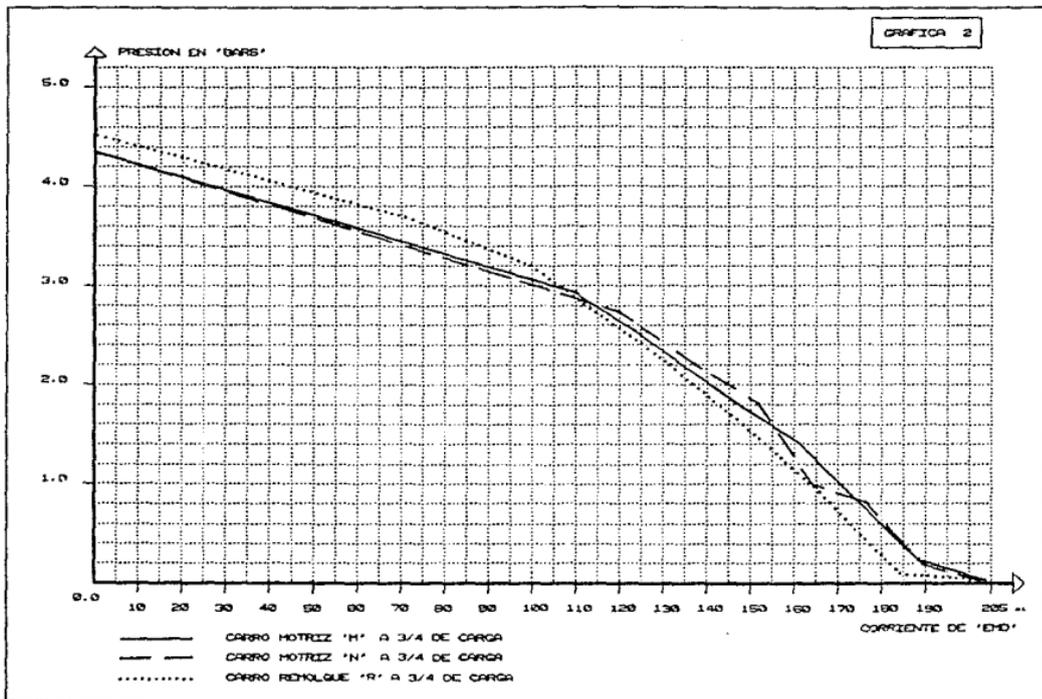
TABLA 'E'  
CORRIENTE DE ELECTROVALVULA MODIFICABLE DE DESFRENADO (EDM) Y PRESION DE AIRE EN BARS PARA CADA CARRO

FRENEADO	SEÑAL PATRON (mA)	CARROS VACIOS						CARROS A 3/4 DE CARGA					
		CARRO H		CARRO N		CARRO R		CARRO H		CARRO N		CARRO R	
		I (mA)	BARS	I (mA)	BARS	I (mA)	BARS	I (mA)	BARS	I (mA)	BARS	I (mA)	BARS
N	70	204	0.0	204	0.0	204	0.0	204	0.0	204	0.0	204	0.0
F1	62.5	192	0.0	192	0.0	190	0.1	190	0.25	189	0.2	184	0.1
F2	55	181	0.46	180	0.4	175	0.5	174	0.9	178	0.8	168	0.8
F3	47.6	171	1.0	175	0.85	180	1.0	181	1.4	184	1.0	140	1.0
F4	40	161	1.36	165	1.2	151	1.5	146	1.85	151	1.8	131	2.2
F5	32.6	150	1.7	153	1.65	134	2.1	123	2.55	137	2.2	100	3.2
F6	25	140	2.05	147	1.8	125	2.4	110	2.90	120	2.76	72	3.7
FV	0.0	0.0	4.3	0.0	4.36	0.0	4.5	0.0	4.75	0.0	4.05	0.0	4.5

PARA LOS VALORES DE LAS TABLAS ANTERIORES LAS CONDICIONES FUERON SIMULADAS EN TRACCION LA CORRIENTE EN LA ELECTROVALVULA MODIFICABLE DE DESFRENADO ES 264 MILIAMPERES , ESTO ES PARA MANTENER SIN PRESION LAS LLANTAS CON LAS BALATAS PERMITIENDO ASI LIBERTAD A LA RUEDA PARA GIRAR .

GRAFICA 1





En las tablas anteriores se muestran las características generales en que funciona el receptor de señal patrón para cada posición del manipulador , dando como resultado los valores mostrados en la tabla 'E' .

Para su mejor apreciación se graficaron los resultados finales (tabla E) para mostrar el comportamiento de la corriente de información que el receptor procesa para producir una respuesta en la electroválvula moderable de desfrenado '(EMD)' .

En la grafica 1 se muestra el comportamiento de la presión de aire en la electroválvula moderable de desfrenado '(EMD)' con respecto a la corriente procesada por el receptor que se presenta en cada carro sin carga alguna .

En la grafica 2 se muestra el comportamiento de la presión de aire en la electroválvula moderable de desfrenado '(EMD)' con respecto a la corriente de salida del receptor que se presenta en los diferentes carros con 3/4 de carga simulada .

Las graficas 1 y 2 representan el comportamiento característico del frenado neumático en los diferentes carros en vacío y a 3/4 de carga .

Como apoyo para los resultados anteriores de tablas y graficas se muestra en el apartado siguiente el analisis matemático para una condición de frenado . esto es para justificar

todos los resultados de las tablas anteriores .

#### 6.11 SOLUCION DEL CIRCUITO DEL RECEPTOR DE SEÑAL PATRON PARA UN GRADO DE FRENADO .

Tomaremos como ejemplo un frenado (F3) para carro motriz M en vacio , y con referencia al circuito de la figura 6.1 se procede a continuación a calcular los valores característicos para este frenado .

Nota 1 : Las señales de salida de los amplificadores operacionales u otro elemento que se muestre y que no se identifica se le asignara una variable como a continuación se muestra , esto es para facilitar las variables en las ecuaciones .

V<sub>o7</sub> : esto indica que es el valor de salida del amplificador operacional numero 7 .

Nota 2 : Valores de variables .-

P15 = 15 Volts c.d.

M15 = -15 Volts c.d.

Para un grado de frenado (F3) el generador envia 47.5 miliamperes (IF3) al receptor de señal patrón entrando por la resistencia R213 de 50 Ω que transforma esta señal . en voltaje patrón (Vp) .

$$V_p = (R213) (IF3) = (50 \Omega) (47.5 \text{ mA}) = 2.375 \text{ volts c.d.}$$

Este voltaje se aísla con el amplificador de aislamiento de ganancia unitaria (ISA1) . Su salida sigue siendo el voltaje patrón (Vp) . Este voltaje patrón elabora las señales PSGL1 y PSGL2 en los amplificadores operacionales (opa1) y (opa2) respectivamente .

$$PSGL1 = - \left( Vp \frac{R12}{R11} \right)$$

$$PSGL1 = - 2.375 \text{ v} \frac{20 \text{ k}\Omega}{22 \text{ k}\Omega}$$

$$PSGL1 = - 2.159 \text{ volts c.d.}$$

Como el amplificador operacional (opa1) no produce ganancia unitaria y como es necesario que no se den pérdidas en el valor de voltaje patrón (Vp) , se procede a ajustar la salida del (opa1) con el resistor variable RV211 , entonces tendremos :

$$PSGL1 = - 2.375 \text{ volts c.d.}$$

$$PSGL2 = - \left( PSGL1 \frac{R22//R26}{R21} + F15 \frac{R22//R26}{R23 + R24 + R25} \right)$$

$$PSGL2 = - \left( -2.375 \text{ v} \frac{5 \text{ k}\Omega}{4.7 \text{ k}\Omega} + 15 \text{ v} \frac{5 \text{ k}\Omega}{180\text{k}\Omega + 25\text{k}\Omega + 20\text{k}\Omega} \right)$$

$$PSGL2 = 2.1932 \text{ volts}$$

#### CALCULO DE LA CARGA VARIABLE (VL)

Se efectúa en los amplificadores operacionales (opa29) y (opa30) .

donde conocemos el valor de  $V_{L2} = 4.8$  volts c.d. para carros M en vacío .

$$V_{o29} = V_{L2}$$

$$V_{o30} = V_L = -\left(P15 \frac{R307}{R301 + R302 + R303} + V_{L2} \frac{R307}{R304 + R305 + R306}\right)$$

$$V_L = -\left(15 \text{ v} \frac{10 \text{ k}\Omega}{47\text{k}\Omega + 5.6\text{k}\Omega + 820\Omega} + 4.8 \text{ v} \frac{10 \text{ k}\Omega}{8.2\text{k}\Omega + 820\Omega + 820\Omega}\right)$$

$$V_L = -7.6859 \text{ volts c.d.}$$

#### CALCULO DEL ESFUERZO DE FRENADO (BT)

Se efectúa en el amplificador operacional (opa3) y circuito integrado (IC1) .

$$V_{o3} \equiv \beta = -\left(PS6L1 \frac{R32}{R31} + P15 \frac{R32}{R34 + R35 + R36}\right)$$

$$\beta = -\left(-2.375 \text{ v} \frac{22\text{k}\Omega}{8.2\text{k}\Omega} + 15 \text{ v} \frac{22 \text{ k}\Omega}{330\Omega + 1.8\text{k}\Omega + 33\text{k}\Omega}\right)$$

$$\beta = -3.021 \text{ volts c.d.}$$

$\beta$  = esfuerzo de frenado a 3/4 de carga

$$V_{oIC1} \equiv BT = \frac{(-X2)(-Y2)}{10}$$

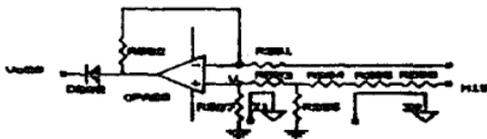
$$BT = \frac{(-V_L)(-\beta)}{10} = \frac{(7.6859 \text{ v})(3.021 \text{ v})}{10}$$

$$E1 = 2.3219 \text{ volts c.d.}$$

Como lo que estamos buscando es la respuesta del receptor para frenado neumático, no necesitamos las informaciones de corriente de motores (Im1, Im2) y con la alimentación de P15 = 15 volts c.d. por el transistor (TR1) logramos dejar fuera los amplificadores operacionales (opa 8, 9, 10, 11) sin que logre ninguna excitación esta parte del circuito.

#### CALCULO DEL PATRON DE FRENADO NEUMATICO (Vo31)

Se logra por medio de los amplificadores operacionales (opa 5, 6, 18, 19, 20, 27, 28, 31) y por circuito integrado (IC2). Analizaremos primeramente la parte del amplificador operacional (opa20) que funciona como un circuito comparador, mostrandose a continuación.



calcularemos el valor del voltaje en el punto V, que es el voltaje de referencia, en donde resolviendo por mallas tenemos:

malla 1  $(700 \text{ K})(i1) - (10 \text{ K})(i2) = 0$  ..... ecuacion 1

malla 2  $(10 \text{ K})(-i1) + (27.93 \text{ K})(i2) = 15 \text{ v}$  ... ecuacion 2

LEUIS CON  
 FALLA DE ORGEN

de ecuación 2 despejamos la corriente 2 (I2)

$$I_2 = \frac{15 \text{ v} + ((10 \text{ K}\Omega) (I_1))}{27.93 \text{ K}\Omega}$$

Sustituyendo en la ecuación 1 el valor de I2

$$(700 \text{ K}\Omega) (I_1) - 10 \text{ K}\Omega \left( \frac{15 \text{ v} + 10\text{K}\Omega (I_1)}{27.93\text{K}\Omega} \right) = 0$$

Resolviendo

$$700 \text{ K}\Omega (I_1) - 5.370 \text{ v} - 3.58 \text{ K}\Omega (I_1) = 0$$

$$696.41 \text{ K}\Omega (I_1) = 5.370$$

$$I_1 = \frac{5.370 \text{ v}}{696.41 \text{ K}\Omega} = 7.7 \mu\text{A}$$

$$V = (I_1) (680 \text{ K}\Omega) = (7.7 \mu\text{A}) (680 \text{ K}\Omega) = 5.24 \text{ volts c.d.}$$

por lo tanto el valor de referencia es de -5.24 volts c.d. en la entrada no inversora del operacional, y este circuito actuara cuando se logre un valor superior y positivo al de referencia que entra por la entrada inversora.

$$V_{o18} = -\left(\beta \frac{R_{185}}{R_{181}}\right) = 3.021 \text{ v} \frac{22\text{K}\Omega}{22\text{K}\Omega}$$

$$V_{o18} = 3.021 \text{ volts c.d.}$$

$$V_{o19} = -(V_{o18} \frac{R_{192}}{R_{191}}) = -3.021 \frac{22\text{K}\Omega}{22\text{K}\Omega}$$

$$V_{o19} = -3.021 \text{ volts c.d.}$$

$$V_{oIC2} = \frac{(-X2)(-Y2)}{10\text{v}} = \frac{(-V_L)(-V_{o19})}{10\text{v}} = \frac{(7.6659 \text{ v})(3.021 \text{ v})}{10\text{v}}$$

$$V_{oIC2} = 2.3219 \text{ volts c.d.}$$

$$V_{o5} = -\left(\text{BT} \frac{R_{53}}{R_{51}}\right) = -2.3219 \text{ v} \frac{10\text{K}\Omega}{15\text{K}\Omega}$$

$$V_{o5} = -1.5479$$

$$V_{o6} = -\left(V_{o5} \frac{R_{64}}{R_{61}} + V_{oIC2} \frac{R_{64}}{R_{63}}\right)$$

$$V_{o6} = 1.5479 \text{ v} \frac{22\text{K}\Omega}{22\text{K}\Omega} - 2.3219 \text{ v} \frac{22\text{K}\Omega}{22\text{K}\Omega}$$

$$V_{o6} = -0.78 \text{ volts c.d.}$$

como el valor de  $V_{o6}$  es negativo , esta señal no actua ya que el diodo conectado en la salida del oparacional esta conectado en directa , entonces la señal que afecta al amplificador operacional (opa31) es solo la señal de  $V_{o5}$  .

$$V_{o31} = - \left( V_{o5} \frac{R_{313}}{R_{311}} \right) = 1.5419 \frac{22k\Omega}{22k\Omega}$$

$$V_{o31} = 1.5479 \text{ volts c.d.}$$

$$V_{o24} = - \left( V_{o31} \frac{R_{247}}{R_{241} + R_{242} + R_{243}} \right)$$

$$V_{o24} = -1.5479 \frac{10k\Omega}{12k\Omega + 100\Omega + 39\Omega}$$

$$V_{o24} = -1.2751$$

$$V_{o25} = - \left( V_{o31} \frac{R_{257}}{R_{251} + R_{252} + R_{253}} + M15 \frac{R_{257}}{R_{254} + R_{255} + R_{256}} \right)$$

$$V_{o25} = - \left( 1.5479 \text{ v} \frac{10k\Omega}{22k\Omega + 10k\Omega + 180\Omega} - 15 \text{ v} \frac{10k\Omega}{120k\Omega + 22k\Omega + 20k\Omega} \right)$$

$$V_{o25} = 0.444 \text{ volts c.d.}$$

como el valor de  $V_{o25}$  es positivo , este no opera por el diodo que

esta conectado en la salida del operacional en inversa , entonces esta señal no afecta al amplificador operacional (opa26) .

Conociendo la relación que existe de corriente con respecto al voltaje de referencia del diodo zener DZ231 , sabemos que :

$$8 \text{ volts c.d.} \cong 200 \text{ mA}$$

por lo tanto

$$8.16 \text{ volts c.d.} \cong 204 \text{ mA}$$

esta relación es necesaria para conocer la resistencia del resistor variable RV265 , conocemos que la corriente de EMD para frenado (F3) es de 171 mA , entonces :

$$171 \text{ mA} \cong 6.84 \text{ volts c.d.}$$

$$\text{asi que } V_{o12} = 6.84 \text{ v} \quad \text{entonces} \quad V_{o26} = -6.84 \text{ v}$$

$$-6.84 \text{ v} = -\left( F15 \frac{R_{265} + RV_{265}}{R_{260} + R_{261} + R_{262}} + V_{o24} \frac{R_{265} + RV_{265}}{R_{263}} \right)$$

multiplicando toda la ecuación anterior por -1 y evaluando valores

$$6.84 \text{ v} = 15 \text{v} \frac{18\text{k}\Omega + RV_{265}}{33\text{k}\Omega + 60\text{K}\Omega + 680\Omega} - 1.2751 \text{ v} \frac{18\text{k}\Omega + RV_{265}}{22\text{k}\Omega}$$

$$6.84 \text{ v} = 15 \text{ V} \frac{18\text{k}\Omega + RV_{265}}{40.48 \text{ k}\Omega} - 1.2751 \text{ v} \frac{18\text{k}\Omega + RV_{265}}{22\text{k}\Omega}$$

resolviendo tenemos

$$6.84 v = 0.3705 \frac{v}{K\Omega} (18K\Omega + RV265) - 0.579 \frac{v}{K\Omega} (18K\Omega + RV265)$$

$$6.84 v = 6.669 v + 0.3705 \frac{v}{K\Omega} RV265 - 1.0422 v - 0.0579 \frac{v}{K\Omega} RV265$$

$$1.2132 v = \left( 0.3126 \frac{v}{K\Omega} \right) (RV265)$$

$$RV265 = \frac{1.2132 \frac{v}{1}}{0.3126 \frac{v}{K\Omega}} = 3.88 K\Omega$$

$$RV265 = 3.88 K\Omega$$

Siendo el valor de la resistencia variable el valor de RV265 , es logico , que esta resistencia queda fija para todos los valores de las tablas . Entonces , como se tomo de base la corriente resultante del frenado (F3) , a continuación demostraremos para un frenado (F5) que todos los valores antes calculados son reales y no ajustados a las necesidades , para el analisis siguiente se tomaran todos los valores que se conocen de las mismas tablas anteriores .

ANÁLISIS PARA CIRCUITO MOTIFIZ 'M' SIN CARGA (VACÍO)

Señal patrón en miliamperes = 32.5 mA

Señal patrón en voltaje  $V_p = 1.295$  v.c.d.

$V_{OISA1} = 1.625$  volts c.d.

$PSGL1 = -1.625$  volts c.d.

$PSGL2 = 1.297$  volts c.d.

$VL2 = 4.8$  volts c.d.

$VL = -7.6848$  volts c.d.

$\beta = -5.03$  volts c.d.

$BT = 3.863$  volts c.d.

$$V_{O18} = -\beta \frac{R_{185}}{R_{181}} = 5.03 \text{ v} \frac{22\text{K}\Omega}{22\text{K}\Omega} = 5.03 \text{ volts c.d.}$$

$$V_{O19} = -V_{O18} \frac{R_{192}}{R_{191}} = -5.03 \frac{22\text{K}\Omega}{22\text{K}\Omega} = -5.03 \text{ volts c.d.}$$

$$V_{O1C2} = \frac{(-VL)(-V_{O19})}{10\text{v}} = \frac{(7.6848\text{v})(5.03\text{v})}{10\text{v}} = 3.8654544 \text{ volts c.d.}$$

$$V_{O5} = -(BT) \frac{R_{53}}{R_{51}} = -3.803 \frac{10\text{K}\Omega}{15\text{K}\Omega} = -2.5753 \text{ volts c.d.}$$

$$V_{O6} = -(V_{O5} \frac{R_{64}}{R_{61}} + V_{O1C2} \frac{R_{64}}{R_{63}}) = -(-2.5753\text{v} \frac{22\text{K}\Omega}{22\text{K}\Omega} + 3.865\text{v} \frac{22\text{K}\Omega}{22\text{K}\Omega})$$

$$V_{o6} = -1.29 \text{ volts c.d.}$$

$$V_{o31} = - (V_{o5} \frac{R_{313}}{R_{311}}) = 2.5753 \frac{22\text{K}\Omega}{22\text{K}\Omega} = 2.5753 \text{ volts c.d.}$$

$$V_{o24} = - (V_{o34} \frac{R_{247}}{R_{241} + R_{242} + R_{243}}) = - (2.5753\text{v} \frac{10\text{k}\Omega}{12\text{k}\Omega + 100\Omega + 39\Omega})$$

$$V_{o24} = -2.1215 \text{ volts c.d.}$$

$$V_{o25} = - (V_{o31} \frac{R_{257}}{R_{251} + R_{252} + R_{253}} + M15 \frac{R_{257}}{R_{254} + R_{255} + R_{256}})$$

$$V_{o25} = - (2.5753 \text{ v} \frac{10\text{k}\Omega}{22\text{k}\Omega + 10\text{k}\Omega + 180\Omega} - 15\text{v} \frac{10\text{k}\Omega}{120\text{k}\Omega + 22\text{k}\Omega + 20\text{k}\Omega})$$

$$V_{o25} = 0.1256$$

$$V_{o26} = - (F15 \frac{R_{265} + R_{V265}}{R_{260} + R_{261} + R_{262}} + V_{o24} \frac{R_{265} + R_{V265}}{R_{263}})$$

$$V_{o26} = - (15\text{v} \frac{18\text{k}\Omega + 3.88\text{k}\Omega}{33\text{k}\Omega + 6.8\text{k}\Omega + 680\Omega} - 2.1215\text{v} \frac{18\text{k}\Omega + 3.88\text{k}\Omega}{22\text{k}\Omega})$$

$$V_{o26} = -5.99$$

$$V_{o12} = - (V_{o26} \frac{R_{122}}{R_{121}}) = 5.99 \text{ v} \frac{22\text{K}\Omega}{22\text{K}\Omega} = 5.99 \text{ volts c.d.}$$

$$V_{012} = 5.99 \text{ volts c.d.}$$

$$\text{Si } 200 \text{ mA} \cong 8 \text{ volts c.d.}$$

$$200 \text{ mA} = 8 \text{ v}$$

$$x = 5.99 \text{ v}$$

$$x = \frac{(200 \text{ mA})(5.99 \text{ v})}{8 \text{ v}} = 149.9 \text{ mA}$$

$$x = 149.9 \text{ miliamperes}$$

El resultado final para un grado de frenado de (F5) por el analisis matematico es de 149.9 miliamperes , si hacemos la comparación el valor que se tiene en la tabla 'E' nos damos cuenta que es de 150 mA . Quedando de esta manera comprobada la veracidad de los valores mostrados en las tablas , que muestran las características de respuesta , según los analisis realizados en el receptor de señal patrón al generar una respuesta en corriente , para activar la electroválvula moderable de desfrenado que a su vez activara presión en las balatas en la rueda para frenar al tren .

## CONCLUSIONES

Una de las vitales importancias en el transporte publico es la seguridad de los usuarios , Considerando esto , el Sistema de Transporte Colectivo Metro ( S.T.C. ) de la Ciudad de Mexico se ha preocupado por que sus trenes cuenten con un equipo de control de respuesta rapida para comandar la tracción y frenado con seguridad , Esto se viene a resolver con circuitos de analisis electronico .

Este control se ha implementado de tal forma que considera el medio ambiente y el peso en que se encuentra cada carro , ya que a diferencia del tren convencional , este control se adapto a las condiciones del Metro Ferreo ( Linea 'A' ) que su principal diferencia con el Metro neumático es que utiliza rueda metalica , razón por la que se implemento este control de generación y procesamiento de la señal que controla las funciones de tracción y frenado , conocida como señal patrón .

El tren responderá a las condiciones de tracción y frenado dependiendo de las características en que se encuentre todo el tren , la linea de alimentación y el medio ambiente , es decir :

si se encuentra en ambiente seco o lluvioso , logrando esto por medio de los detectores con que se equipo el tren para que sus informaciones se envíen a los circuitos correspondientes para su procesamiento , logrando de esta forma un buen funcionamiento del Metro . Parte de estas señales de información se envían al receptor de la señal patrón donde se analizan condiciones como : corrientes de motor , tensión de línea de alimentación , medio ambiente y límites de tolerancia de funcionamiento , influyendo todo esto en la señal patrón que en general se encarga de analizar las condiciones en que se encuentra el tren para que su repuesta sea la adecuada .

Para que la respuesta de señal patrón sea la óptima es necesario que el ajuste del equipo de control de señal patrón sea la correcta , como se demostro en el ejemplo de esta tesis .

En conclusión obtenemos estos puntos

- 1.- Ya que la señal patrón considera las características en que se encuentra el tren , esta provocara una respuesta que depende de las condiciones en que se encuentra el mismo .
- 2.- La señal patrón asegura el buen funcionamiento del tren reflejandose en confort y seguridad para los usuarios .

3.- Su eficiencia es optima cuando se ha ajustado adecuadamente .

*BIBLIOGRAFIA*

- The Intruccion book for México city Metro .  
Mitsubishi Electric Corporation , Japan .
  
- Overhaul Manual book for México city Metro .  
Mitsubishi Electric Corporation , Japan .
  
- Modern Electronic Communication .  
Miller , Garay M .  
Ed. Prentice Hall .
  
- Elementos de Electronica .  
Hikey y Villines .  
Ed. Marcombo .
  
- Electronica para Cientificos e Ingenieros .  
Benedict Ralph R .  
Ediciones Urmo S.A.
  
- Principios de Electronica  
Malvino Paul .  
Ed. Mc Graw Hill .
  
- Electronica Integrada .  
Hillman Jacob .  
Ed. Hispano-Europea S.A.

- **Electronica Teoria de Circuitos**  
Boilestad Robert .  
Ed. Prentice Hall .
  
- **Enciclopedia de la Electronica [Ingenieria y Tecnica]**  
Belove C .  
Ed. Oceano Centrum .
  
- **Circuitos Integrados lineales y Amplificadores Operacionales**  
Robert F. Coughlin , Frederick F. Driscoll .  
Ed. Prentice Hall .
  
- **Circuitos Electronicos Integrados .**  
Emicee .  
Ed. Limusa .